

Universidade Federal do Rio de Janeiro

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UMA PLUMA DE HIDROCARBONETOS
SOB REMEDIAÇÃO EM UMA ÁREA URBANA COSTEIRA**

Katia Litieri Fontoura Macedo

CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

2007



UFRJ

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UMA PLUMA DE HIDROCARBONETOS SOB REMEDIAÇÃO EM UMA ÁREA URBANA COSTEIRA

Katia Litieri Fontoura Macedo

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador:

Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior

Co- orientadora:

MSc. Rosemari Fabianovicz

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2007

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UMA PLUMA DE HIDROCARBONETOS SOB REMEDIAÇÃO EM UMA ÁREA URBANA COSTEIRA

Katia Litieri Fontoura Macedo

Orientador: Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior
Co- orientadora: MSc. Rosemari Fabianovicz

Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Aprovada por:

Prof. Gerson Cardoso da Silva Junior
Departamento de Geologia - IGEO - UFRJ

Prof^a. Andréa Ferreira Borges
Departamento de Geologia - IGEO - UFRJ

Prof. João Wagner de Alencar Castro
Museu Nacional - UFRJ

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2007

Macedo, Katia Litire Fontoura

Estudo do Comportamento de uma Pluma de Hidrocarbonetos Sob
Remediação em uma Área Urbana Costeira.

Katia Litire Fontoura Macedo – Rio de Janeiro, UFRJ/IGEO, 2007.
ix,34p.: Il., 28 cm

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Geologia) –
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Instituto de Geociências –
Departamento de Geologia, 2007.

Orientadores: Gerson Cardoso da Silva Júnior, Rosemari
Fabianovicz

1. Geologia. 2. Setor de Engenharia Ambiental – Trabalho de
Conclusão de Curso. I. Gerson Cardoso da Silva Júnior, Rosemari
Fabianovicz. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de
Geociências.

Aos meus pais, Serrate e Wagner
e minha irmã Ana Paula,
as pessoas que mais amo no mundo.

AGRADECIMENTOS

A minha mãe Serrate, ao meu pai Wagner, a minha irmã Ana Paula e a todos os demais parentes que direta ou indiretamente contribuíram para essa caminhada.

Ao meu orientador Professor Gerson pela orientação, incentivo e confiança, a minha co-orientadora Rosemari pela grande contribuição na confecção deste trabalho.

As Smurffetes da geologia, Alessandra, Alice, Ana Carolina, Ana Paula, Ghislaine, Giselle, Luana, Priscilla, Samille e Thayana; e os fanfarrões, Cláudio, Bruno e Mário, pessoas maravilhosas, grandes amigos geólogos, com quem convivi durante esses cinco anos de faculdade, e quero que estejam sempre ao meu lado.

À HAZTEC Tecnologia e Planejamento Ambiental S.A., em especial ao Felipe Rocha, Alexandre Oliveira e Maurício Fernandes pela oportunidade e por confiar no meu trabalho.

As minhas amigas de trabalho, Alessandra Lima, Daniella Brantes, Erika Richter, Patrícia Meg, Patrícia Moraes, pela ajuda na minha monografia e pela agradável convivência no trabalho que vocês proporcionam.

A Olga Gomes e Denílson Souza pela ajuda na confecção das figuras que ilustram este trabalho.

Aos Professores João Wagner e Andréa que aceitaram participar desta etapa importante da minha vida.

"É uma lei da natureza: os homens se congregam onde as águas convergem"
Jacques Cousteau (1914-1997) naturalista francês.

RESUMO

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UMA PLUMA DE HIDROCARBONETOS SOB REMEDIAÇÃO EM UMA ÁREA URBANA COSTEIRA

Katia Litieri Fontoura Macedo

Orientador: Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior

Co-orientadora: MSc. Rosemari Fabianovicz

Resumo da Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro– UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Atualmente, uma das maiores preocupações relacionadas à contaminação ambiental em áreas urbanas está ligada aos vazamentos de hidrocarbonetos como gasolina e óleo diesel em postos de combustíveis. Estes são formados por compostos como PAH's e BTEX que, acima de determinadas concentrações, são nocivos ao meio ambiente e aos seres humanos. Ao ocorrerem derramamentos, os combustíveis tendem a percolar a zona não saturada do solo, sendo que parte permanece no solo como fase residual e parte continua fluindo até chegar à zona saturada, onde poderá se apresentar como fase livre e fase dissolvida. Os hidrocarbonetos leves podem volatilizar-se e compor a fase de vapor que fica entre os grãos do solo não saturado. Existem diversos métodos para a remediação de áreas nessa situação. Este trabalho relata um estudo em que foram utilizados os sistemas *Pump & Treat* durante 15 meses e, posteriormente, durante 6 meses, o sistema *multi phase extraction* (MPE) para um determinado *site* no estado do Rio de Janeiro. Nesse estudo, foram realizados monitoramentos do lençol freático local e da fase livre, e campanhas de amostragem das águas nos poços do empreendimento para a avaliação do comportamento da pluma de contaminante dissolvido. Verificou-se que o sistema *Pump & Treat* é razoavelmente útil para a remoção de fase livre no início da remediação, mas não é eficaz para a redução do tamanho da pluma de fase dissolvida e tampouco funciona de modo eficiente em longo prazo. O sistema MPE é mais completo, podendo fazer o tratamento de fase livre e dissolvida na parte saturada do solo e fase residual e fase vapor na zona vadosa (solo não saturado). Não foi possível observar nenhuma correlação entre o comportamento do aquífero e o efeito de marés, porém há uma resposta nítida do sistema à precipitação pluviométrica.

Palavras-chave: hidrocarbonetos, remediação, postos de combustíveis

ABSTRACT**BEHAVIOR OF A HYDROCARBON PLUME UNDER REMEDIATION PROCESSES
IN A COASTAL URBAN AREA**

Katia Litiere Fontoura Macedo

Orientador: Prof. Dr. Gerson Cardoso da Silva Júnior

Co-orientadora: MSc. Rosemari Fabianovicz

Abstract da Monografia submetida ao Curso de Graduação em Geologia, Instituto de Geociências, da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, como requisito necessário à obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Currently, one of the major concerns related to the environmental contamination in urban areas is the leakage of underground storage tanks containing hydrocarbons such as gasoline and diesel. These fuels are composed by HPA' s and BTEX mixtures that, above certain concentrations, are harmful to the environment and the human beings. When spillings occur, the hydrocarbons tend to percolate the unsaturated zone of the ground, and a portion is retained in the ground as residual phase whilst the remaining volume continues flowing until arrives at the saturated zone, where it will constitute a floating free phase and the dissolved phase. The light hydrocarbons can be volatilized and form the vapor phase that migrates through the grains of the unsaturated soil. There are various methods for the remediation of areas in this situation of contamination. This work shows a study where a "Pump & Treat" system was used during 15 months in one site in Rio de Janeiro State and, later on, a "multi phase extraction system" (MPE) was set in place during the following 6 months. Groundwater and free phase monitoring, besides water and soil sampling field campaigns in wells were executed in order to evaluate the behavior of the contaminant dissolved plume. The Pump & Treat system is reasonably useful for the removal of free phase at the beginning of the remediation, but is not efficient for the reduction of the size of the dissolved plume and neither functions efficiently for long periods. MPE system is more complete, being able to make the treatment of phase free and dissolved phase in the saturated zone and of the residual phase and vapor phase in the vadose zone (unsaturated soil). It was not possible to observe a correlation between the aquifer behavior and the effect of tides. However there is a clear answer of the system to the rainfall.

Keywords: hydrocarbons, remediation, filling station

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. AS CARACTERÍSTICAS DOS CONTAMINANTES E O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE ÁREAS CONTAMINADAS.....	3
3. ÁREA DE ESTUDO.....	7
3.1. LOCALIZAÇÃO.....	7
3.2. HISTÓRICO	8
3.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	11
4. SISTEMA DE REMEDIAÇÃO	15
4.1. SISTEMA <i>PUMP & TREAT</i>	15
4.2. SISTEMA <i>MULTI PHASE EXTRACTION</i> (MPE)	17
5. RESULTADOS.....	19
5.1. MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO	21
5.2. MONITORAMENTO DA EVOLUÇÃO DA FASE LIVRE	23
5.3. AVALIAÇÃO DOS HIDROCARBONETOS EM FASE DISSOLVIDA	25
5.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS PLUMAS DE BENZENO	26
6. CONCLUSÕES	30
7. BIBLIOGRAFIA.....	34
Apêndice I – Avaliação da Presença de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC)	36
Apêndice II – Resultados Analíticos das Amostras de Solo	37
Apêndice III – Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Localização da Área Estudada.	7
Figura 2: Planta baixa do empreendimento com a localização dos tanques que foram retirados.	10
Figura 3: Mapa de Concentração dos Compostos Orgânicos Voláteis.	12
Figura 4: Perfis das Sondagens Executadas em Outubro de 2004 e Abril de 2006.	13
Figura 5: Mapa Potenciométrico do <i>site</i>	14
Figura 6: Planta Baixa do Sistema <i>MPE</i>	18
Figura 7: Pluma de Benzeno em Fase Dissolvida	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos tanques	9
Tabela 2: Identificação da ocorrência de hidrocarbonetos em fase livre durante a operação dos sistemas de remediação.	25
Tabela 3: Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas nos poços PE-01, PE-02, PE-03, PE-04 e PE-05.	28
Tabela 4: Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas nos Poços PE-06, PE-07, PE-08, PE-09 e PE-10.	28
Tabela 5: Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas nos Poços PM-01, PM-02, PM-03, PI-01 e PI-02.	29

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: variação do nível do lençol freático monitorado as 08:00h.	21
Gráfico 2: variação do nível do lençol freático monitorado as 17:00h.	22
Gráfico3: comparação do nível do lençol freático com dados pluviométricos local.....	23
Gráfico 4: Evolução da fase livre monitorada as 08:00h.	24
Gráfico 5: Evolução da fase livre monitorada as 08:00h.	24
Gráfico 6: Concentrações de Benzeno no Lençol Freático Durante o Processo de Remediação	30

1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores questões ambientais discutidas atualmente é a contaminação de águas subterrâneas por combustíveis derivados do petróleo. Esse tipo de contaminação geralmente é originado a partir de vazamentos em postos de abastecimento ocorridos em áreas urbanas.

Na década de 70, houve um aumento do número de postos revendedores combustíveis no Brasil, o que nos leva a crer que a maioria dos vazamentos em tanques de armazenamento de combustível são oriundos de tanques instalados nessa época. Como a vida média desses tanques é estimada em 25 anos, acredita-se que há um grande número de vazamentos nos postos do país (Corseuil & Martins, 1997).

O vazamento pode ocorrer por diversos motivos: por derramamento operacional de transferência do combustível para o tanque; corrosão nos tanques e tubulações devido à falta de manutenção; má instalação das conexões das tubulações entre si e ao tanque, entre outros. Tais vazamentos de combustíveis levam à contaminação de solos e águas subterrâneas com substâncias como o BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos) e PAH (hidrocarbonetos aromáticos policíclicos), presentes em sua composição. A interação dessas substâncias com o meio físico pode afetar diretamente a população, oferecendo riscos à saúde pública e aos ecossistemas.

Detectado o grande risco ambiental, passou a haver a necessidade da recuperação das áreas atingidas pela contaminação. Os Órgãos Ambientais começaram a fiscalizar com mais rigor esses casos e passaram a exigir soluções para o problema (Sisinno *et al.*, 2003). Em alguns países, foi proposta a adoção de listas orientadoras com valores de referência de qualidade, de alerta e de intervenção para subsidiar decisões nas ações de monitoramento para o controle da poluição de áreas contaminadas e/ou suspeitas de contaminação (Casarini *et al.*, 2001).

Existem atualmente diversas técnicas que visam a diminuição das concentrações dos contaminantes até níveis aceitáveis, pois uma vez que os hidrocarbonetos percolam o solo e atingem as águas subterrâneas, é muito difícil assegurar a completa eliminação da contaminação.

Uma das técnicas de remediação mais utilizadas no mundo consiste na extração das águas subterrâneas e posterior tratamento. O sistema *Pump & Treat (P&T)* é a mais simples de todas as técnicas, e o próprio nome já diz: bombeamento e tratamento, porém, vem cedendo gradativamente espaço a técnicas mais efetivas e modernas, não sendo atualmente a técnica mais utilizada para remediação nos EUA e Europa.

O sistema *Muti Phase Extraction (MPE)* é a remoção combinada dos contaminantes em fase livre, dissolvida e vapor. Realiza-se o bombeamento das águas e dos hidrocarbonetos voláteis, e em seguida tratam-se os dois separadamente.

Existem vários outros sistemas de remediação de solos e água subterrânea que não serão abordados no presente trabalho pois não foram avaliados.

Esses sistemas de remediação devem permanecer em funcionamento até que se atinjam os parâmetros de contaminação aceitáveis pelos Órgãos Ambientais, que não ofereçam riscos ao ambiente, normalmente segundo as indicações obtidas em avaliações de risco ou com base em listas de valores orientadores de Órgãos Ambientais (CETESB, 2005)

O objetivo deste trabalho é apresentar o estudo do comportamento de uma pluma de hidrocarbonetos (mais especificamente gasolina e óleo diesel), provenientes do derramamento de um posto de abastecimento, no meio hidrogeológico, sob sistema de remediação ambiental em uma área costeira. Em um primeiro momento, foi desenvolvido o diagnóstico ambiental e instalado o sistema *Pump & Treat* e, posteriormente, o sistema *Multi Phase Extraction (MPE)*.

Para a realização deste estudo, foi escolhida uma área no Estado do Rio de Janeiro, próxima à costa, em que o terreno precisa ser remediado para dar início à construção de um edifício multifamiliar com garagem subterrânea. Foram utilizados diagnósticos ambientais preliminares que permitiram a delimitação da pluma de contaminantes. Posteriormente, realizou-se a instalação dos sistemas mais adequados para o cenário ambiental em que a área se encontrava.

Realizou-se o monitoramento do lençol freático local e das espessuras de fase livre. Durante a operação do sistema *Pump & Treat*, o monitoramento teve frequência diária; e, posteriormente, durante a operação do sistema *MPE*, frequência semanal.

Durante a vigência dos sistemas de remediação, foram coletadas amostras das águas subterrâneas para análise de BTEX e PAH dissolvidos.

E por fim, foi realizado um estudo da evolução da pluma de benzeno em fase dissolvida durante o período de atuação dos sistemas de remediação, avaliando a influência dos sistemas na área estudada.

2. AS CARACTERÍSTICAS DOS CONTAMINANTES E O DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE ÁREAS CONTAMINADAS

Para a definição da melhor técnica de remediação a ser aplicada em uma área contaminada, é necessário conhecer as condições ambientais e as características do contaminante, uma vez que estes são os principais parâmetros que influenciam no comportamento de compostos químicos no meio afetado (Fetter, 1992; Soliman et al., 1998; Ferreira & Zuquette, 1998; Guimarães, 2003). Para tanto, é realizada uma investigação

detalhada do meio (diagnóstico ambiental), a qual objetiva conhecer o meio físico bem como a natureza e a distribuição dos contaminantes.

A gasolina é um produto originado do refinamento do petróleo, o qual é constituído por centenas de compostos químicos. Seus principais constituintes são os hidrocarbonetos, entre os quais destacamos os monoaromáticos – benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX) – e os poliaromáticos – PAH, *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*, que incluem, dentre outros naftaleno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(k)fluoranteno, benzo(a)pireno, indeno(123-cd)pireno, benzo(ghi)perileno (Thomas, 2001). Os PAH são carcinogênicos e acredita-se que sejam os mais prejudiciais à saúde por possuírem maior potencial para exposição ao ser humano do que os demais (Chiaranda, 2006).

Os maiores impactos do ponto de vista ambiental são as contaminações atribuídas aos hidrocarbonetos monoaromáticos, que são os constituintes mais solúveis e mais móveis da fração gasolina. Os valores máximos permitidos para os hidrocarbonetos aromáticos de acordo com o estabelecido pela portaria 518/2004 do Ministério da Saúde e lista de valores orientadores da FEEMA (DZ-1841.R-2, 2004), são 5 µg /L para benzeno, 170 µg /L para tolueno, 200 µg /L para etilbenzeno e 300 µg /L para xilenos. O benzeno é reconhecidamente o mais tóxico de todos os BTEX (Silva, *et al.*, 2002).

No Brasil, para diminuir a quantidade de monóxido de carbono emitido na atmosfera nos grandes centros urbanos, passou-se a utilizar o etanol misturado a gasolina. Esta mistura corresponde a 20% de etanol e 80% de gasolina (Brasil, 2006). As interações entre o etanol e o BTEX causam efeitos diferenciados da gasolina pura no deslocamento de plumas de contaminantes. Em contato com a água os BTEX se dissolverão parcialmente, sendo os primeiros contaminantes a atingir o lençol freático.

Segundo Valentin (2006), com a adição de 10% de etanol à gasolina, a solubilidade dos solutos excede a solubilidade em água pura (no sistema sem etanol) por um fator de 1,2; 1,4 e 1,5 para o benzeno, tolueno e *o*-xileno, respectivamente.

Para o diagnóstico ambiental e obtenção de informações a respeito da qualidade do solo e da água subterrânea investigada são desenvolvidas atividades que envolvem a coleta e análise de dados. Dentre as técnicas empregadas podemos citar: o levantamento topográfico, a medição de compostos orgânicos voláteis (VOC), a realização de sondagens e a coleta de amostras de solo e de água além de análises geoquímicas, hidroquímicas e hidrodinâmicas.

Dependendo dos resultados obtidos durante a medição do VOC, devem ser realizadas as sondagens. O número e locais de sondagens a serem realizadas devem ser definidos em função da distribuição das áreas fonte e das anomalias levantadas pela medição de gases. Ao longo dos perfis das sondagens devem ser coletadas amostras de solo em duplicata, a cada 0,5 m de profundidade, sendo uma alíquota para as medições de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) e análise organoléptica, com avaliação da presença de indícios de contaminação e descrição do material quanto à textura, cor e granulometria. A outra alíquota é retirada com um coletor de amostra, identificada e armazenada sob refrigeração (inferior a 4°C).

3. ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo localiza-se na área de influência de um antigo posto de abastecimento na cidade do Rio de Janeiro – RJ (figura 1), ocupando uma área de aproximadamente, 767 m².

O empreendimento encontra-se em área plana, sendo classificada como zona urbana, ocupada, predominantemente, por residências, distante cerca de 200 m da costa.

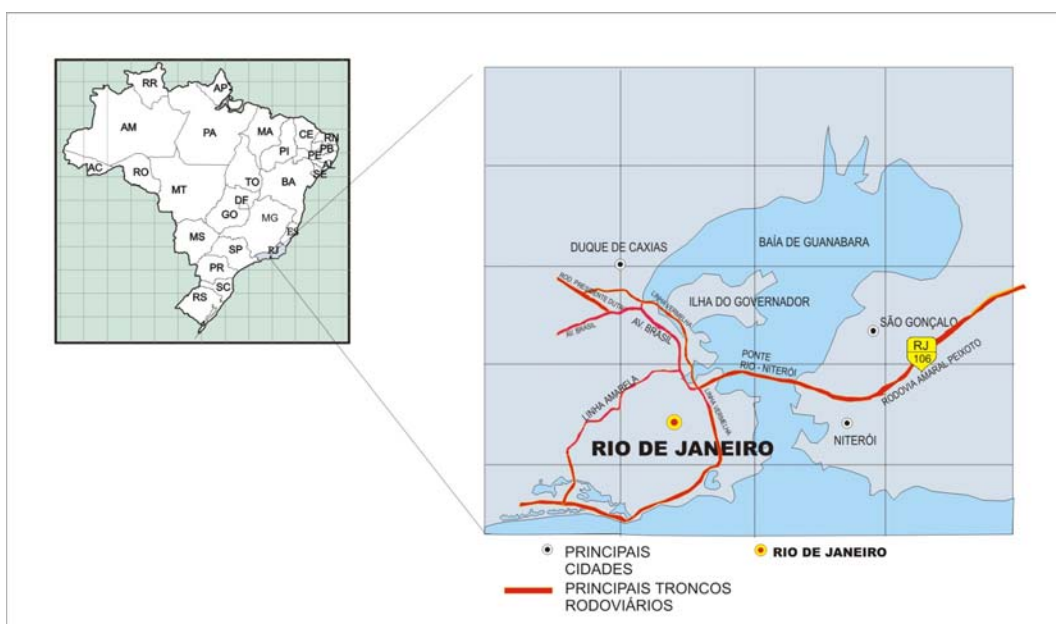


Figura 1: Mapa de Localização da Área Estudada.

3.2. HISTÓRICO

A área de estudo faz parte de um antigo posto de abastecimento que teve suas atividades operacionais encerradas. Todos os equipamentos de armazenamento (SASC – Sistema de Armazenamento Subterrâneo de Combustíveis) e de abastecimento, assim como as edificações e demais estruturas que compunham o *lay-out* do empreendimento foram desmobilizados/demolidos.

Pretende-se utilizar esta área para construção de um prédio multifamiliar contendo garagem subterrânea. Porém, foi constatada a presença de contaminantes no solo e no lençol freático, sendo necessárias medidas de remediação. O terreno alvo do processo de remediação ambiental em questão encontra-se atualmente desocupado.

Não há informações sobre o tempo de operação do empreendimento, ou a respeito da ocorrência de acidentes ambientais, visto que os serviços de campo realizados em várias ocasiões nunca foram acompanhados por qualquer responsável pela área.

Não foi verificada a presença de poços de captação de água subterrânea nas cercanias do empreendimento. A água utilizada na região é fornecida pela Companhia de Estadual de Águas e Esgoto.(CEDAE).

O empreendimento recebia, armazenava e comercializava gasolina e diesel para o abastecimento de veículos.

A área de abastecimento (figura 2) era contemplada com canaletas de drenagem de resíduos oleosos ligadas à Caixa Separadora Água-Óleo (SAO). A pavimentação da área interna limitada pelas canaletas de drenagem oleosa era em concreto, e a pavimentação da área, externa a estas, constituída por blocos de concreto articulado. O posto não possuía *box* destinado aos serviços de lavagem de veículos e troca de óleo. O óleo queimado, proveniente

da troca de óleo, era armazenado em dois tanques subterrâneos (TQ-05 e TQ-06) de 300 litros cada.

O empreendimento operava com nove tanques subterrâneos de armazenamento de combustível, cujas descrições encontram-se na **Tabela 1**.

Tabela 1: Descrição dos tanques

Tanque	Capacidade (L)	Produto	Tipo	Parede	Situação	Posição	Idade
01	15.000	G.C	pleno	simples	retirado	subterrâneo	-
02	15.000	G.C	pleno	simples	retirado	subterrâneo	-
03	15.000	G.A	pleno	simples	retirado	subterrâneo	-
04	10.000	<i>Diesel</i>	pleno	simples	retirado	subterrâneo	-
05	300	O.Q	pleno	simples	retirado	subterrâneo	-
06	300	O.Q	pleno	simples	retirado	subterrâneo	-
07	15.000	G.C	pleno	simples	retirado	subterrâneo	-
08	15.000	G.C	pleno	simples	retirado	subterrâneo	-
09	15.000	G.C	pleno	simples	retirado	subterrâneo	-

Abreviações: G.C – gasolina comum; G.A – gasolina aditivada; O.Q – óleo queimado; (-) não informado

PROJETO:
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE
UMA PLUMA DE
HIDROCARBONETOS SOB
REMEDIAÇÃO EM UMA ÁREA
URBANA COSTEIRA

LEGENDA:

POSTO DE ABASTECIMENTO
BARRA LIMPA LTDA.

R

RESIDÊNCIA

C

COMÉRCIO

E

ESTACIONAMENTO

H

HOTEL

TQ-XX

TANQUE SUBTERRÂNEO

TQ-XX

TQ-XX

TANQUE SUBTERRÂNEO
BICOMPARTIMENTADO

BOMBA DE ABASTECIMENTO

CX A CX B CI

CAIXA SEPARADORA
DE ÁGUA E ÓLEO

CAIXA DE PASSAGEM

FILTRO ANAERÓBIO

FOSSA SÉPTICA

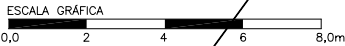
CANALETA



ESCALA:
GRÁFICA

FIGURA 2:

PLANTA BAIXA DO EMPREENDIMENTO
COM A LOCALIZAÇÃO DOS TANQUES
QUE FORAM RETIRADOS



3.3. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Este trabalho baseia-se em diagnósticos ambientais preliminares para a implantação dos sistemas de remediação apropriados para a área.

Os trabalhos de campo para a obtenção dos dados realizaram-se em duas fases. A primeira, em dezembro de 2003, com o acompanhamento técnico da retirada dos tanques subterrâneos instalados na área, que se apresentavam em bom estado de conservação, sem furos ou pontos oxidados. A segunda, em maio de 2004 com a realização de uma campanha de VOC, com a finalidade de delimitar a pluma de contaminação na área do empreendimento (figura 3).

Após a delimitação da pluma de hidrocarbonetos em fase vapor, foram instaladas sondagens para descrição estratigráfica do terreno, as quais permitiram classificar o subsolo local, até a profundidade de 6,5 m, como um solo composto por uma camada superficial de aterro composto predominantemente por areia média, com camadas sobrejacentes de areia fina a média e coloração cinza e marrom (figura 4).

Com base em dados de campo, pode-se afirmar que até a profundidade investigada (6,5 m) há um único aquífero, de caráter livre. O nível médio do lençol freático local, dentro da área do empreendimento, é de 4,16 m de profundidade.

Calculou-se a condutividade hidráulica (K) média de $4,26 \times 10^{-4}$ cm/s, e uma porosidade efetiva (η_e) de 21% para o material em questão. Através da lei de Darcy obteve-se a velocidade linear média das águas subterrâneas na área investigada, de cerca de 19,0 m/ano, cujo sentido de fluxo é para sudeste, segundo a figura 5.

Foram realizadas análises químicas que indicaram a presença de hidrocarbonetos em fase residual e vapor no solo e em fase dissolvida na água subterrânea (apêndices I, II e III)

PROJETO:
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE
UMA PLUMA DE
HIDROCARBONETOS SOB
REMEDIÇÃO EM UMA ÁREA
URBANA COSTEIRA

LEGENDA:

TQ-XX

TQ-XX

TANQUE SUBTERRÂNEO

TQ-XX

TQ-XX

TANQUE SUBTERRÂNEO BICOMPARTIMENTADO

X

BOMBA DE ABASTECIMENTO

CX A

CX B

CX C

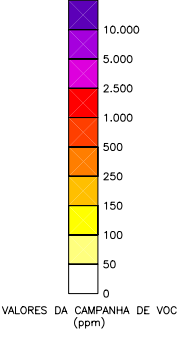
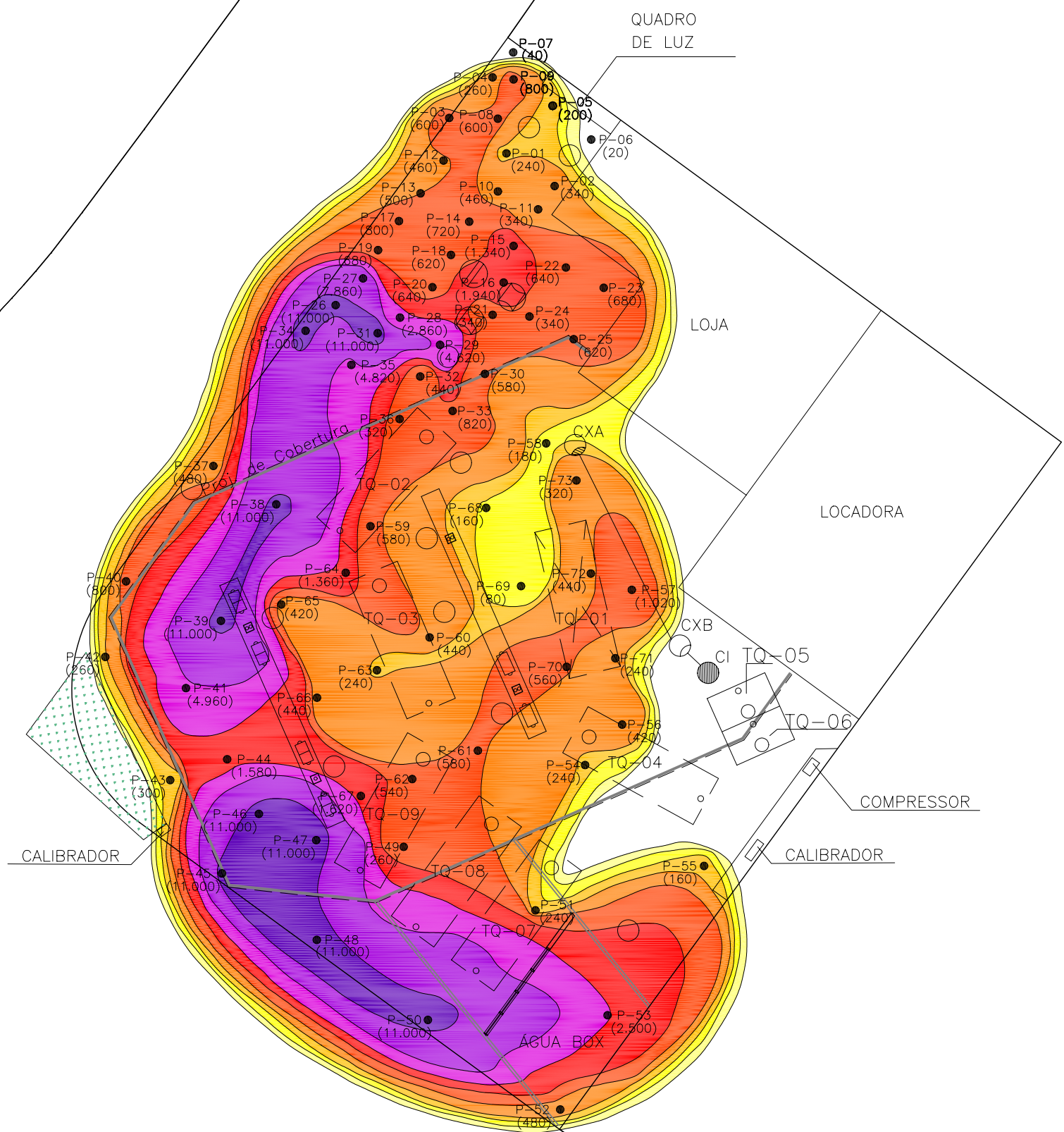
CAIXA SEPARADORA DE ÁGUA E ÓLEO

CAIXA DE PASSAGEM

FILTRO ANAERÓBIO

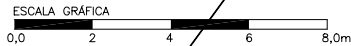
FOSSA SÉPTICA

CANALETA



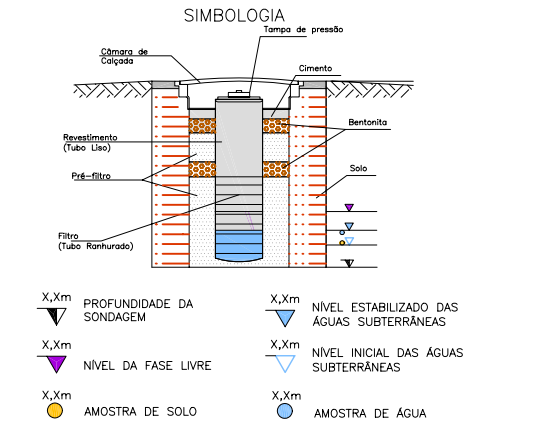
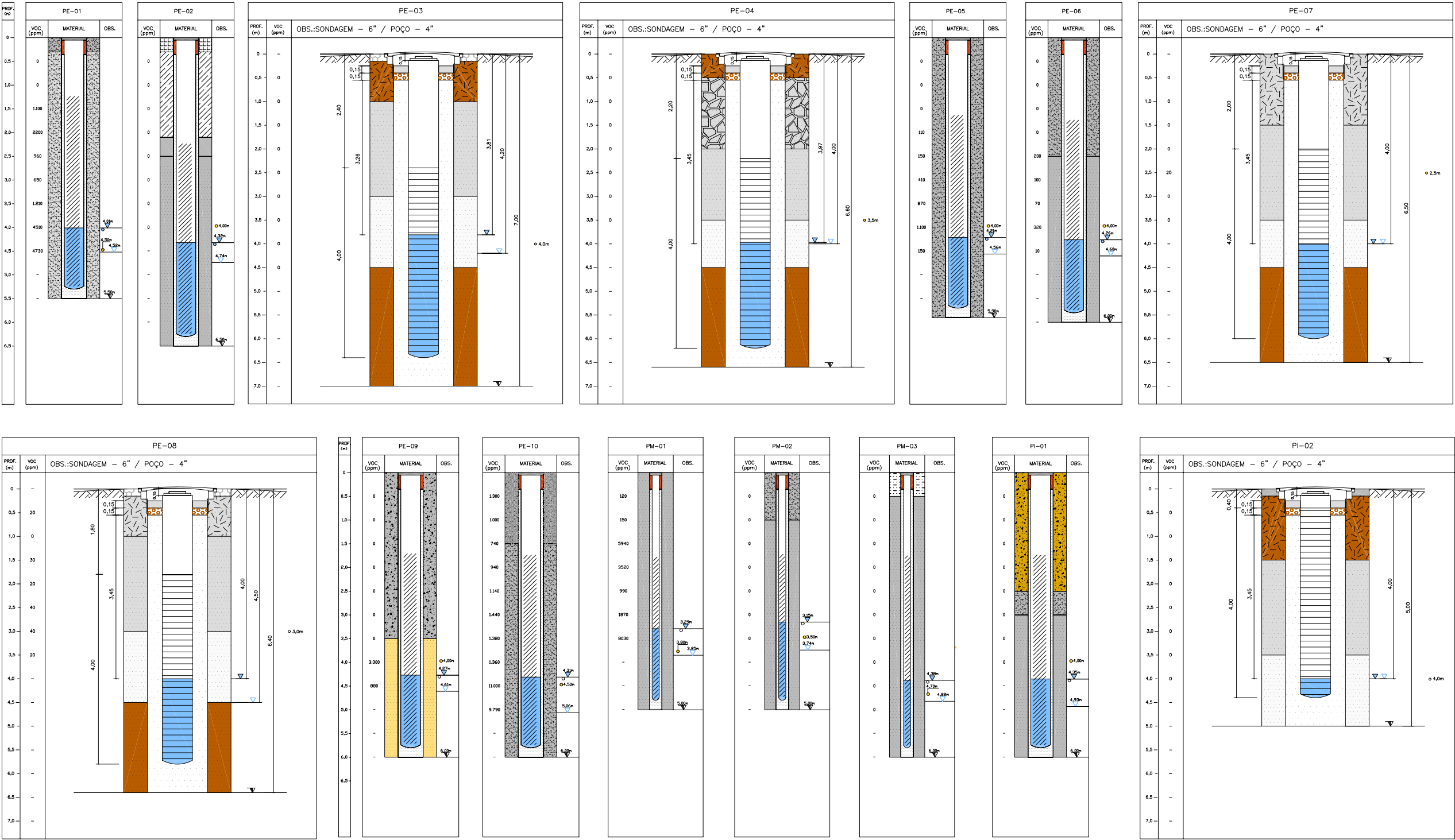
ESCALA:
GRÁFICA

FIGURA 3:
MAPA DE CONCENTRAÇÃO DE
COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS



PROJETO:
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE
UMA PLUMA DE
HIDROCARBONETOS SOB
REMEDIÇÃO EM UMA ÁREA
URBANA COSTEIRA

- LEGENDA:
- Concreto
 - Bloquete
 - Aterro Com Areia Média Cinza
 - Areia Média Cinza
 - Areia Média Branca
 - Areia Média Marrom
 - Aterro Argiloso Marrom
 - Areia Cinza Com Cascalho
 - Pó de Brita Com Aterro
 - Camada Impenetravel
 - Aterro
 - Areia de granulação média cinza claro
 - Areia de granulação fina cinza
 - Areia de granulação fina bege
 - Pó de brita cinza
 - Areia de granulação média cinza com cascalho
 - Areia argilosa
 - Laje
 - Seção sem presença de solo



ESCALA:
VERTICAL

FIGURA 4:

PERFIS DESCRITIVOS DAS SONDAGENS
EXECUTADAS EM OUTUBRO DE 2004

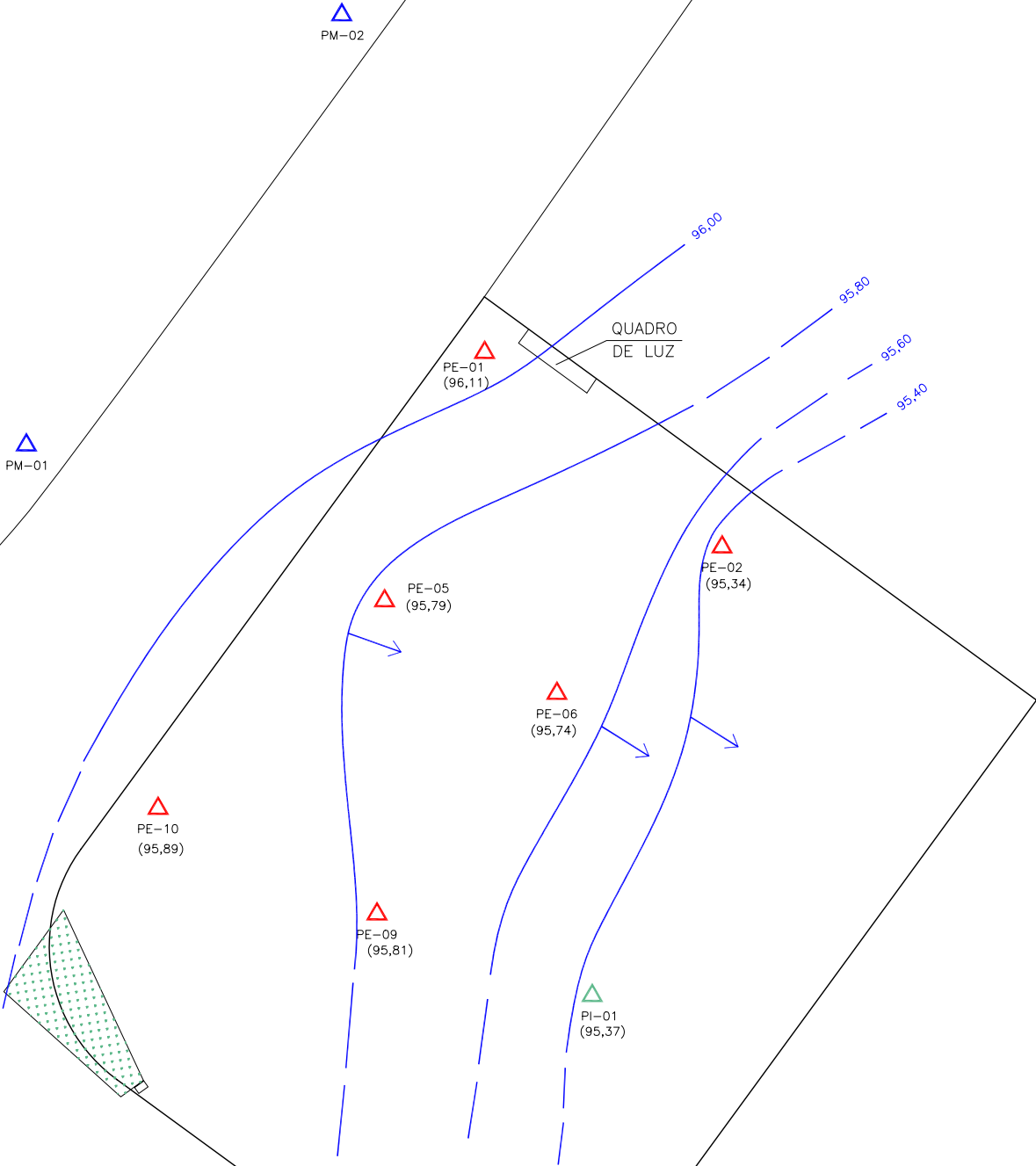
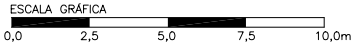
PROJETO:
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE
UMA PLUMA DE
HIDROCARBONETOS SOB
REMEDIAÇÃO EM UMA ÁREA
URBANA COSTEIRA

- LEGENDA:
- | | | |
|---------|---|---|
| PI-XX | △ | POÇO DE INJEÇÃO |
| PM-XX | △ | POÇO DE MONITORAMENTO |
| PB-XX | △ | POÇO DE BOMBEAMENTO |
| (xx,xx) | | LINHA EQUIPOTENCIAL
(CARGA HIDRÁULICA EM METROS) |
| → | | SENTIDO DO FLUXO DAS ÁGUAS
SUBTERRÂNEAS |

ESCALA:
GRÁFICA

FIGURA 5:

POTENCIOMÉTRICO



4. SISTEMA DE REMEDIAÇÃO

4.1. SISTEMA *PUMP & TREAT*







Em janeiro de 2005 implantou-se no empreendimento o sistema do tipo *Pump & Treat*, operando em horário comercial (08h por dia), que consiste no rebaixamento do lençol freático e na remoção de contaminantes em fase dissolvida e fase livre, através do bombeamento de poços (figura 06).

Este sistema é constituído por uma bomba pneumática itinerante, com uma vazão média de 20 L/min, que promove a sucção em uma tubulação dirigida até o nível do lençol freático, dentro do poço. Este método remove os efluentes e usa apenas a gravidade para a recarga do poço, uma vez que a água subterrânea tende para zonas de menor pressão, no caso o poço.

Os efluentes bombeados são direcionados, inicialmente, para uma caixa separadora de água e óleo. No primeiro compartimento os hidrocarbonetos em fase livre são separados da água contendo os hidrocarbonetos em fase dissolvida. A fase livre é captada e armazenada em tambores apropriados, visando a destinação adequada. A água com hidrocarbonetos em fase dissolvida é destinada a compartimentos preenchidos por carvão ativado, favorecendo a adsorção dos contaminantes e redução das concentrações presentes. Após passar por este sistema, a água contendo concentrações dos compostos de BTEX e PAH adequados, é direcionada para o poço de injeção PI-01, a jusante da área.

Para a verificação da eficiência do sistema, acompanhou-se a evolução das condições hidrogeológicas locais com medições do nível d'água e de indícios da contaminação existente. Em março de 2006 o sistema *P&T* foi desmobilizado em função da substituição da tecnologia aplicada no processo de remediação. Foram realizadas adequações, e em abril a remediação da área passou a operar por Extração Multifásica (*Multi-Phase Extraction–MPE*).

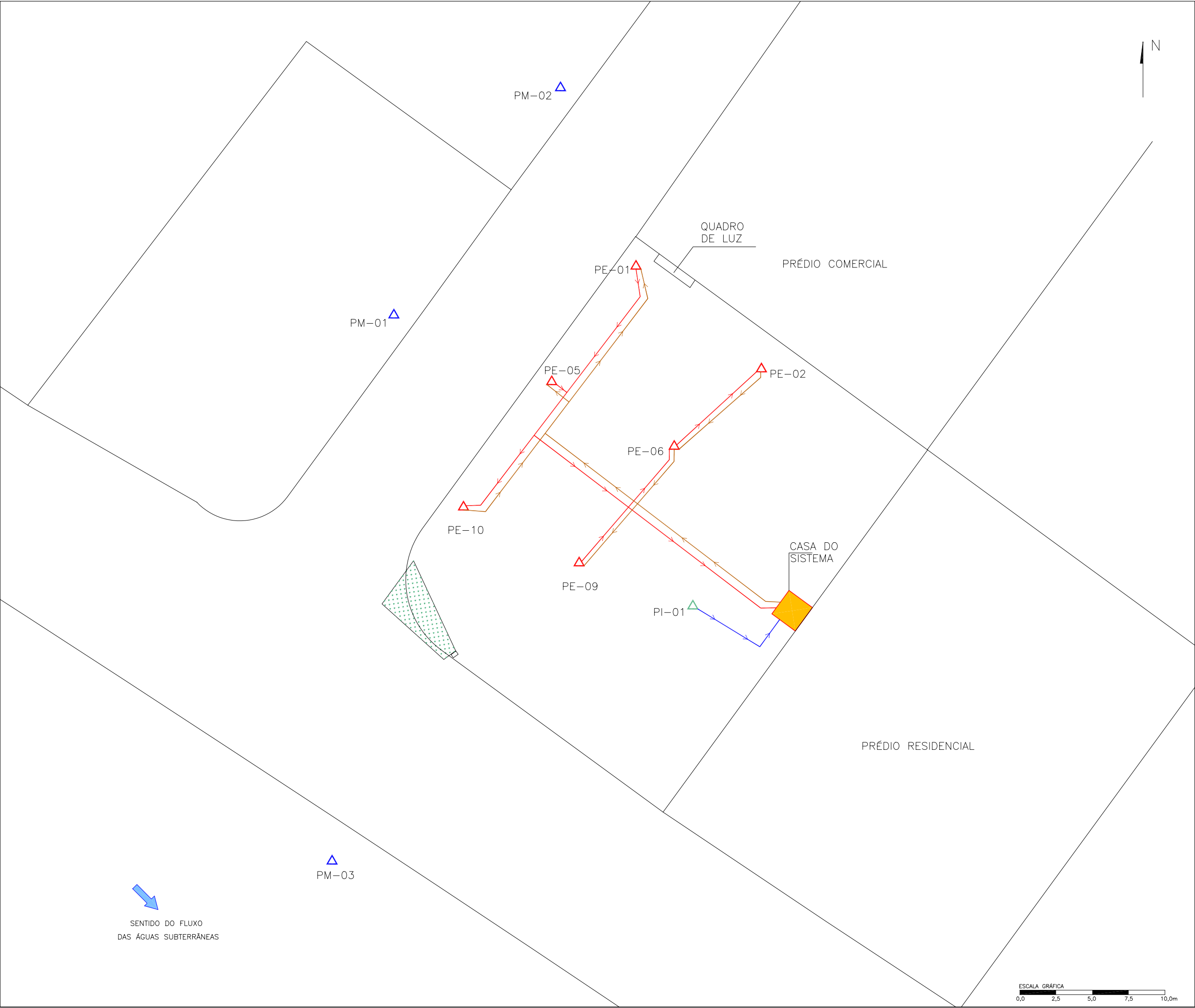
PROJETO:
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE
UMA PLUMA DE
HIDROCARBONETOS SOB
REMEDIÇÃO EM UMA ÁREA
URBANA COSTEIRA

- LEGENDA:
- | | | |
|-------|---|--------------------------------------|
| PI-XX |  | POÇO DE INJEÇÃO |
| PM-XX |  | POÇO DE MONITORAMENTO |
| PB-XX |  | POÇO DE BOMBEAMENTO |
| |  | AR COMPRIMIDO |
| |  | HIDROCARBONETOS EM FASE DISSOLVIDA |
| |  | ÁGUA A SER REINJETADA PÓS-TRATAMENTO |

ESCALA:
GRÁFICA

FIGURA 6:

PLANTA BAIXA DO SISTEMA
PUMP AND TREAT



4.2. SISTEMA *MULTI PHASE EXTRACTION* (MPE)

Em abril de 2006 foi instalado na área um Sistema de Saneamento do Solo e do Lençol Freático por Extração Multifásica (*MPE*) com operação diária de 24h. O Sistema *MPE* (figura 06) remove efluentes aplicando vácuo, possibilitando a extração das fases de hidrocarbonetos adsorvida e vapor, na zona não saturada, e fases livre e dissolvida, na zona saturada. Este sistema funciona por meio da instalação de um sistema de ventilação a vácuo em poços de extração distribuídos na área de interesse, estimulando o processo de biodegradação natural dos hidrocarbonetos em fase adsorvida na zona não saturada.







Através da aplicação do vácuo, por uma bomba de anel líquido com vazão média de 60L/min de água e 70L/min de ar, nos poços de extração, cria-se um gradiente de pressão dirigido para estes pontos, de onde são extraídas a fase livre, vapor e dissolvida do contaminante.

Os efluentes bombeados são direcionados a um tanque de vácuo, onde ocorre a separação das fases líquida e gasosa. Os gases contendo os VOC são transferidos a um filtro de carvão ativado, por ação da própria bomba de vácuo, que promove a redução das concentrações de VOC. O produto final é emitido para a atmosfera através de respiros.

A água contendo hidrocarbonetos em fase livre e dissolvida é direcionada por uma bomba de transferência com vazão média de 30 L/min, a um sistema de separação e filtração. Os hidrocarbonetos em fase livre captados após o processo de separação serão armazenados em tambores apropriados, visando à destinação adequada. A água com hidrocarbonetos em fase dissolvida é encaminhada ao filtro de carvão ativado que promove a redução das concentrações desses hidrocarbonetos.

PROJETO:
ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE
UMA PLUMA DE
HIDROCARBONETOS SOB
REMEDIAÇÃO EM UMA ÁREA
URBANA COSTEIRA

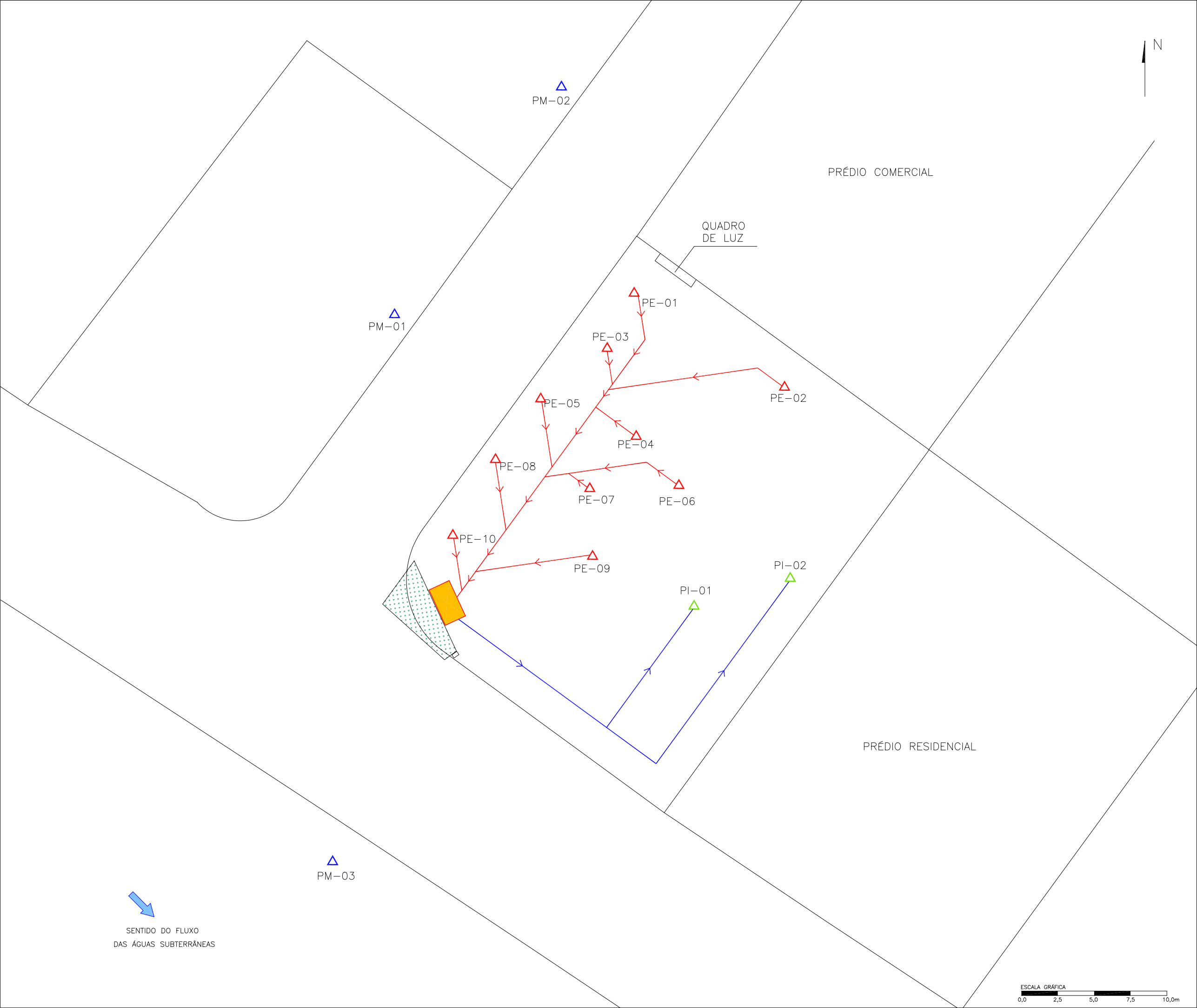
LEGENDA:

PI-XX		POÇO DE INJEÇÃO
PM-XX		POÇO DE MONITORAMENTO
PE-XX		POÇO DE EXTRAÇÃO
		LOCAL DA CASA DO SISTEMA
		LINHA DE EXTRAÇÃO MULTIFÁSICA
		TUBULAÇÃO DE ÁGUA A SER REINJETADA PÓS-TRATAMENTO

ESCALA:
GRÁFICA

FIGURA 8:

PLANTA BAIXA DO SISTEMA
MPE



Para maior eficácia do sistema de remediação ambiental, foram instalados 4 poços de extração (PE-03, PE-04, PE-07, PE-08) e um poço de injeção (PE-02). O bombeamento é realizado a partir dos poços de extração PE-01 a PE-10, através de uma rede de tubulações e registros associados. Utiliza-se uma linha principal de extração (ramal principal) à qual encontram-se ligados os poços a serem bombeados, através dos ramais secundários. O bombeamento é realizado de maneira automatizada, 24 h/dia.

A extração ocorre simultaneamente em todos os PE's. Entretanto os poços são autônomos (possuem registro individual), possibilitando a operação/extração privilegiada em qualquer área do sistema instalado, de acordo com as informações obtidas a partir das campanhas de análises químicas, o que otimiza o processo de remediação.

Ao final do processo a água tratada será reinjetada em dois pontos localizados a montante da área impactada (PI-01 e PI-02).

De acordo com Guiguer (2000) os poços de injeção podem ser usados para criar barreiras que mudam tanto a direção da pluma quanto a velocidade da migração da pluma. Para que isso ocorra os poços deverão ser instalados a montante dos equipamentos e dos poços de bombeamento/extração, a fim de que a injeção das águas após o tratamento mova a pluma de contaminantes para os poços em que estão sendo bombeados. Há, assim, uma maior eficácia no bombeamento dos contaminantes, ajudando o processo de remediação.

5. RESULTADOS

O sistema do tipo *Pump & Treat* permaneceu ativo durante um período de 15 meses. Em março de 2006 o sistema *P&T* foi desmobilizado em função da substituição da tecnologia aplicada no processo de remediação. Para tal mudança foram realizadas adequações na área, e

em abril passou a operar por Extração Multifásica (*Multi-Phase Extraction – MPE*). O sistema MPE opera atualmente o processo de remediação ambiental da área estudada, contudo neste relatório são citados apenas dados referentes aos 6 primeiros meses de vigência, ou seja até outubro de 2006.

O sistema *P&T* foi acompanhado pelo monitoramento diário do nível das águas subterrâneas e da evolução da contaminação; e o sistema *MPE* pelo monitoramento semanal (1 vez por semana) da evolução da contaminação.

Em princípio o sistema *Pump & Treat* foi instalado na área com a finalidade de remover os hidrocarbonetos em fase dissolvida que foram detectados durante o diagnóstico ambiental realizado em outubro de 2004. Ao iniciar este sistema de remediação em janeiro de 2005, foi observada a existência de hidrocarbonetos em fase livre em espessuras centimétricas no poço PE-10. Com o bombeamento, o poço passou a apresentar a partir de março de 2005 apenas hidrocarbonetos na forma de oleosidade/iridescências, como nos poços PE-01, PE-05, PE-06 e PE-09, que também foram bombeados.

Nos meses de outubro e novembro de 2005 não foi observado nenhum indício de fase livre na área do empreendimento, permanecendo com este quadro até o início de dezembro de 2005, quando voltaram a aparecer espessuras centimétricas de hidrocarbonetos em fase livre no poço PE-05 e oleosidade/ iridescências nos poços PE-01, PE-5, PE-06 e PE-10.

Uma vez que foram retirados da área todos os equipamentos que pudessem causar uma nova contaminação por hidrocarbonetos, pode-se concluir que a fase livre que tornou a aparecer, provém da zona não saturada do solo. Os hidrocarbonetos se encontravam na forma de fase adsorvida.

Em dezembro de 2005 o nível do lençol freático oscilou muito em um curto espaço de tempo, resultando na lavagem do solo, a qual carregou parte da fase adsorvida, que passou a fase livre.

5.1. MONITORAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO

De acordo com o monitoramento diário do lençol freático, durante o sistema de remediação *P&T*, observou-se que o nível das águas subterrâneas na área varia aproximadamente de 2,80 e 4,92 metros dentro do empreendimento.

O sistema MPE por consistir em bombeamento 24 h, influencia de maneira desordenada o nível do lençol freático, não apresentando um padrão representativo. Por este motivo não foi relatado o monitoramento do nível das águas subterrâneas neste período.

Nos gráficos 1 e 2, referentes aos monitoramentos da manhã (8:00 h) e tarde (17:00 h), pode-se verificar esta variação.

Gráfico 1: variação do nível do lençol freático monitorado as 08:00h.

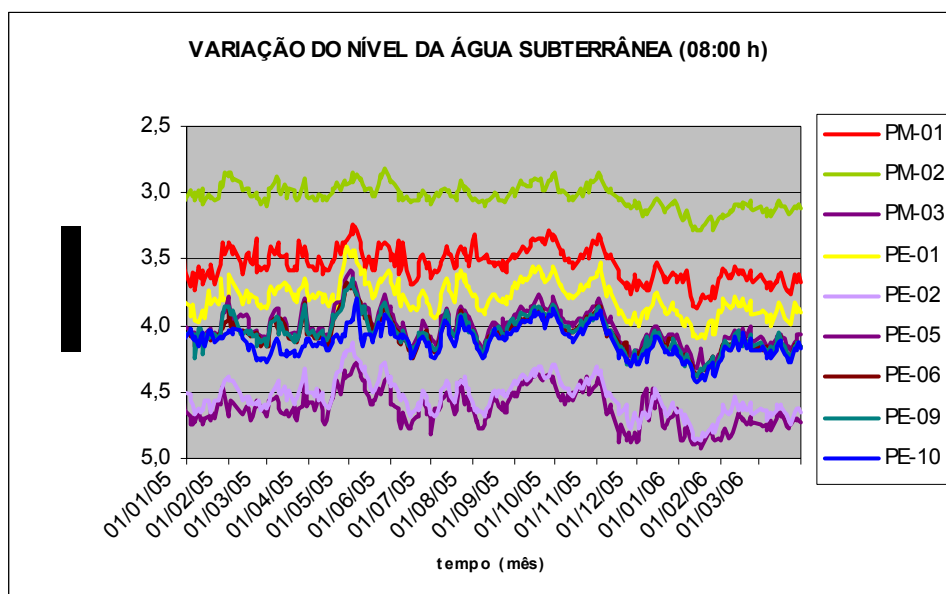
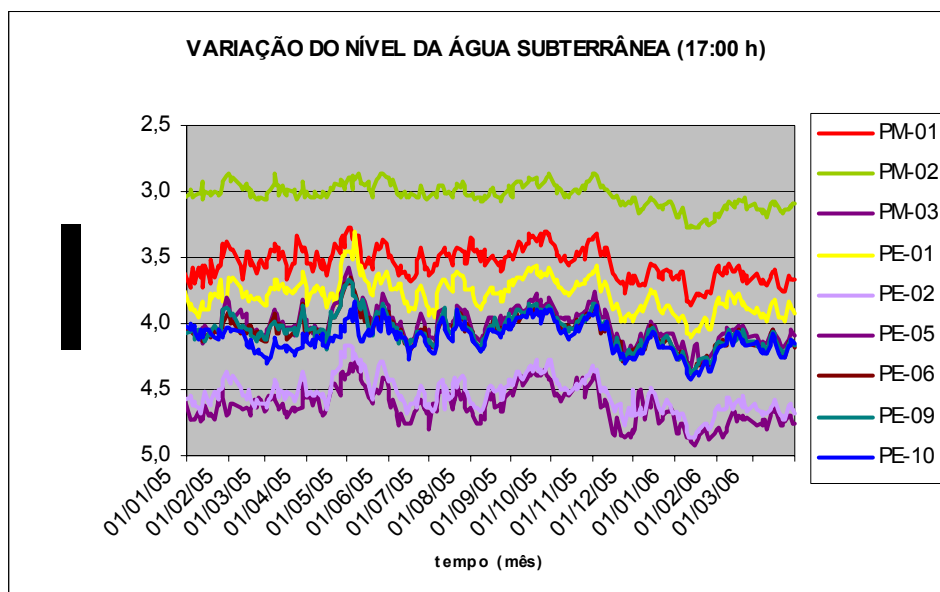


Gráfico 2: variação do nível do lençol freático monitorado as 17:00h.

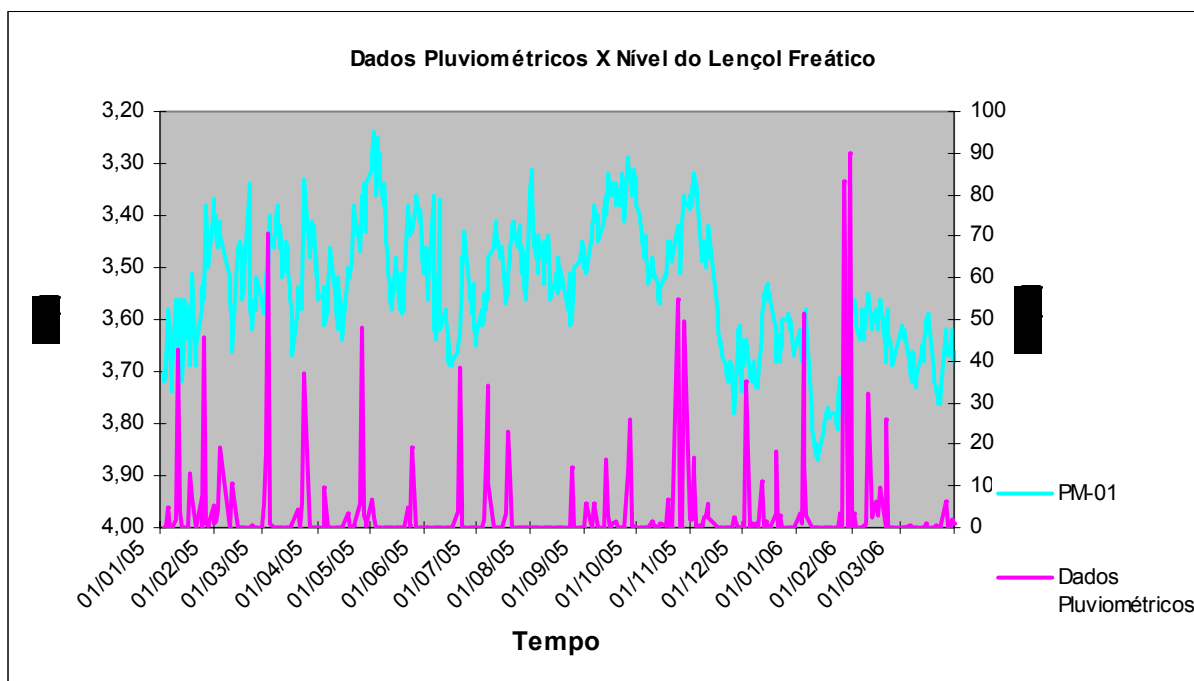


De acordo com o observado nos gráficos 1 e 2, o nível do lençol freático em cada poço mantém um certo padrão em relação aos dias em que o nível oscila, ou seja, mesmo as cargas hidráulicas apresentando bem diferenciadas em cada poço, quando o nível da água se eleva em um poço todos tendem a ter o nível da água elevado também.

Uma vez visualizada esta tendência, comparou-se em um gráfico os dados do nível do lençol freático do poço PM-01 com os dados pluviométricos (Georio, 2006), obtidos na estação pluviométrica mais próxima do empreendimento.

No gráfico 3, observa-se que a chuva tem grande influência na recarga deste aquífero. Entre os meses de dezembro e janeiro há uma tendência do lençol freático ter o nível mais baixo do ano. A partir do final de fevereiro com o aumento contínuo das precipitações, há um acréscimo no nível das águas. Entre abril e outubro ocorreram precipitações regulares, as quais mantêm o nível das águas praticamente estáveis, com pequenas oscilações.

Gráfico3: comparação do nível do lençol freático com dados pluviométricos local.



5.2. MONITORAMENTO DA EVOLUÇÃO DA FASE LIVRE

O monitoramento da evolução da fase livre foi realizado durante todo o processo de remediação. Durante o horário da manhã (8:00 h) as espessuras de hidrocarbonetos em fase livre verificadas tendiam a ser maiores que as observadas no horário da tarde (17:00 h) (gráficos 4 e 5).

Em janeiro e fevereiro de 2005 o poço PE-10 apresentou espessuras de hidrocarbonetos em fase livre chegando a 14,0 cm. Os indícios de contaminação por hidrocarbonetos em fase livre, na forma de oleosidade e iridescências (hidrocarbonetos em fase livre, na forma residual, não possível de formar espessuras capazes de serem medidas) neste poço estenderam-se continuamente até outubro de 2006.

Em março de 2005 os poços PE-01, PE-05, PE-06 e PE-09 passaram a apresentar iridescências de hidrocarbonetos em fase livre e oleosidade. Nos poços PE-05, PE-06 e

PE-09 a contaminação em fase livre estendeu-se continuamente até maio de 2005; e no poço PE-01 até setembro de 2005.

Gráfico 4: Evolução da fase livre monitorada as 08:00h.

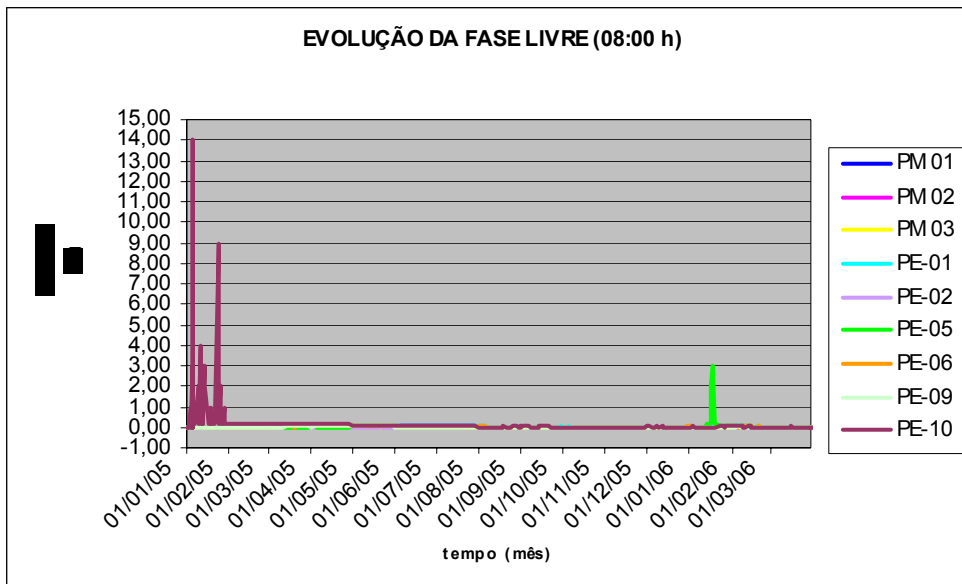
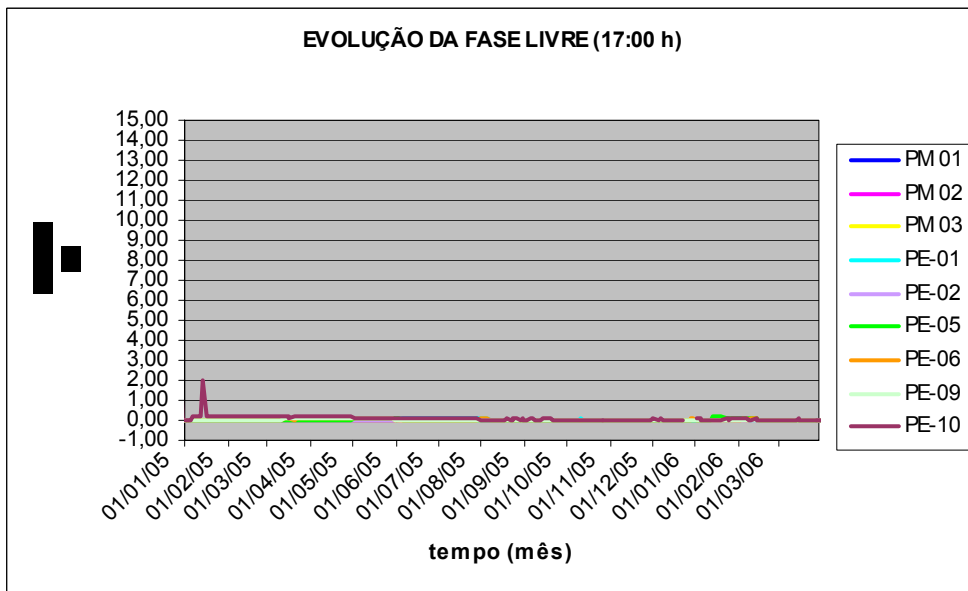


Gráfico 5: Evolução da fase livre monitorada as 17:00h.



Em dezembro de 2005 o poço PE-10 voltou a apresentar iridescências, e em janeiro de 2006 também foi constatado a presença de indícios de contaminação nos poços PE-01, PE-05, PE-06 e PE-09. No poço PE-05 a contaminação em fase livre atingiu espessuras de até 3,0 cm em janeiro. A fase livre nos poços do empreendimento permaneceu até fevereiro. A partir de

março não foi constatado nenhum indício de hidrocarbonetos em fase livre dentro da área estudada. Na tabela 2 foram identificados os poços que apresentaram espessuras centimétricas de fase livre e apenas oleosidade/iridescências no decorrer dos meses de remediação.

Tabela 2: Identificação da ocorrência de hidrocarbonetos em fase livre durante a operação dos sistemas de remediação.

Sist.	Mês	PM-01	PM-02	PM-03	PE-01	PE-02	PE-03	PE-04	PE-05	PE-06	PE-07	PE-08	PE-09	PE-10	PI-01	PI-02
SISTEMA PUMP & TREAT	jan/05	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X	-		-	X
	fev/05	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X	-		-	X
	mar/05	-	-	-		-	X	X			X	X			-	X
	abr/05	-	-	-		-	X	X			X	X			-	X
	mai/05	-	-	-		-	X	X	-		X	X			-	X
	jun/05		-	-		-	X	X	-	-	X	X	-		-	X
	jul/05		-	-		-	X	X	-	-	X	X	-		-	X
	ago/05	-	-	-		-	X	X	-	-	X	X	-		-	X
	set/05	-	-	-		-	X	X	-	-	X	X	-		-	X
	out/05	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X	-	-	-	X
	nov/05	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X	-	-	-	X
	dez/05	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X	-		-	X
	jan/06	-	-	-	-	-	X	X		-	X	X	-		-	X
	fev/06	-	-	-		-	X	X			X	X	-		-	X
	mar/06	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	X	-	-	-	X
SISTEMA MPE	abr/06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	mai/06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	jun/06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	jul/06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	ago/06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Set/06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Out/06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

(-) Sem indícios de hidrocarbonetos em fase livre (X) Estes poços foram instalados em Abril de 2006

Em verde poços com hidrocarbonetos em fase livre na forma de oleosidade e iridescências

Em rosa poços com fase livre centimétricas

5.3. AVALIAÇÃO DOS HIDROCARBONETOS EM FASE DISSOLVIDA

Os hidrocarbonetos em fase dissolvida na água subterrânea são detectados através de análises químicas, realizadas em laboratórios especializados na detecção dos compostos BTEX e PAH. Foram realizadas cinco campanhas de amostragens, sendo três durante a remediação com sistema *P&T*, em junho de 2005, outubro de 2005 e janeiro de 2006; e duas durante o sistema *MPE* em julho e outubro de 2006.

Segundo os resultados analíticos (tabelas 3, 4 e 5), a área estudada encontra-se afetada pelos compostos PAH's naftaleno, fenantreno e antraceno em baixas concentrações e pelos

compostos BTEX em altas concentrações, sendo as maiores promovidas pelo composto Benzeno.

Verificou-se na maioria dos poços uma tendência na diminuição das concentrações dos contaminantes nas águas subterrâneas no decorrer dos meses. Apenas nos poços PE-01, PE-05 e PE-06 e PM-01 houve aumento das concentrações de benzeno de uma campanha de amostragem para outra (tabelas 3, 4 e 5).

Os poços PE-01, PE-03, PE-04, PE-05, PE-06, PE-07, PE-08, PE-09, PE-10 e PM-01 foram os mais atingidos pela contaminação por hidrocarbonetos em fase dissolvida.

5.4. COMPARAÇÃO ENTRE AS PLUMAS DE BENZENO

De acordo com as análises de benzeno, em determinados poços, ora a contaminação diminui, ora aumenta (gráfico 6). Antes de iniciar o processo de remediação, apenas os poços PE-06, PE-09, PE-10 e PM-01 possuíam benzeno em fase dissolvida (outubro de 2004). Na análise seguinte, em junho de 2005, com o sistema de remediação operando foram detectados através de análises químicas que as concentrações haviam aumentado e atingido outros poços do empreendimento.

Comparando a primeira pluma traçada, referente ao mês de junho de 2005 com a segunda de outubro de 2005 (figura 7), percebe-se que houve um alongamento da pluma com deslocamento para sudeste. Na campanha de janeiro de 2006 esta pluma teve pequena diminuição na parte a sudeste e um aumento a noroeste.

Já a pluma referente a amostragem feita em julho de 2006, houve uma significativa redução das concentrações de benzeno, e em outubro de 2006 (figura 7), os resultados foram mais promissores, mostrando a eficiência no processo de remediação atuante.

FIGURA 8: PLUMA DE BENZENO EM FASE DISSOLVIDA

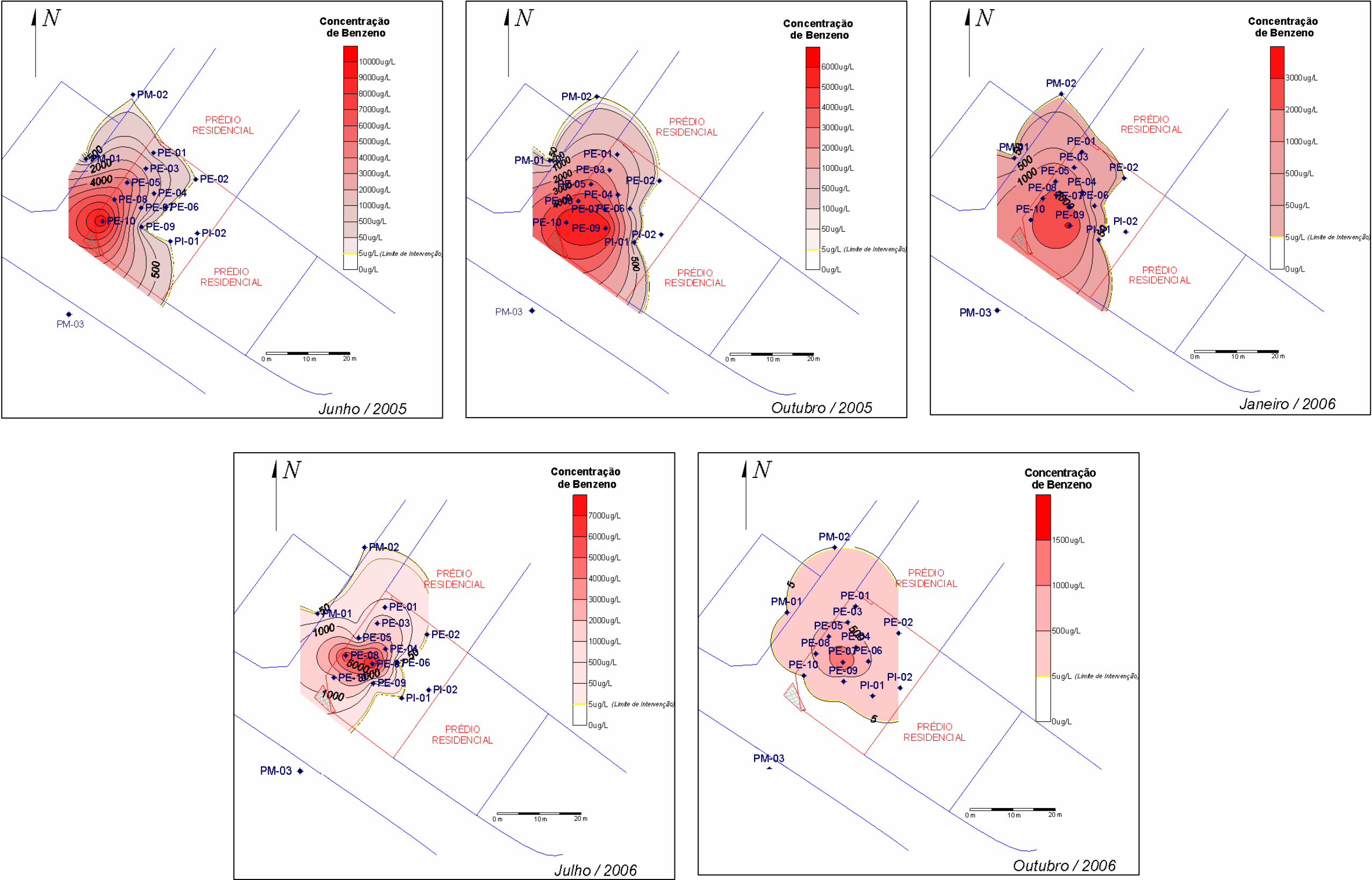


Tabela 3: Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas nos poços PE-01, PE-02, PE-03,PE-04 e PE-05.

COMPOSTOS	PE-01					PE-02					PE-03					PE-04					PE-05					Limite De Detecção (µg /L)	Valores Orientadore s Intervenção (µg /L)
	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06		
BTEX – µg /L																											
BENZENO	266,0	824,0	185,0	703,7	241,8	nd	nd	2,0	3,4	2,3	-	-	-	1.402,8	-	-	-	-	3.194,0	677,6	4.565,0	3.393,0	1.904,0	430,3	724,8	1,0	5,00
TOLUENO	19,0	3,0	Nd	0,6	1,0	5,0	nd	nd	1,4	1,5	-	-	-	5,1	-	-	-	-	13,0	1,3	41,0	13,0	nd	5,3	1,7	1,0	170,00
ETILBENZENO	3,0	3,0	2,0	10,2	1,9	6,0	2,0	4,0	8,5	9,8	-	-	-	8,7	-	-	-	-	384,0	41,0	579,0	168,0	111,0	28,4	20,9	1,0	200,00
XILENOS	4,0	3,0	1,0	8,3	0,7	9,0	3,0	7,0	1,5	5,0	-	-	-	2,8	-	-	-	-	25,0	2,6	710,0	30,0	31,0	8,2	11,4	1,0	300,00
PAH (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) – µg /L																											
NAFTALENO	13,15	1,35	12,50	0,82	0,90	3,73	0,70	3,37	1,59	2,55	-	-	-	nd	-	-	-	-	1,69	3,33	5,41	5,38	29,25	0,58	2,78	0,03	70,00
FENANTRENO	4,31	0,35	4,28	0,97	0,92	2,01	0,19	2,16	0,48	1,62	-	-	-	0,66	-	-	-	-	1,35	4,62	1,53	0,33	4,24	0,07	nd	0,03	5,00
ANTRACENO	1,55	nd	1,19	0,10	nd	0,30	nd	nd	0,04	0,97	-	-	-	0,05	-	-	-	-	0,09	2,35	0,14	nd	0,29	nd	nd	0,03	5,00
FLUORANTENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	1,00
BENZO(A)ANTRACENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,50
CRISENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,05
BENZO(K)FLUORANTENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,05
BENZO(A)PIRENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,70
INDENO(1,2,3-CD)PIRENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,05
BENZO(GHI)PERILENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	nd	-	-	-	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,05
PAH TOTAL	19,01	1,70	17,97	1,89	1,82	6,04	0,89	5,89	2,11	5,14	-	-	-	0,71	-	-	-	-	3,13	10,30	7,08	5,71	33,78	0,65	2,78	-	-

Tabela 4: Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas nos Poços PE-06, PE-07, PE-08, PE-09 e PE-10.

COMPOSTOS	PE-06					PE-07					PE-08					PE-09					PE-10					Limite De Detecção (µg /L)	Valores Orientadores Intervenção (µg /L)
	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL//06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06		
BTEX – µg /L																											
BENZENO	27,0	465,0	167,0	47,9	-	-	-	-	7.473,0	1.598,0	-	-	-	5.709,0	-	nd	5.967,0	3.168,0	332,0	135,9	9.915,0	5.798,0	1.943,0	1.750,5	nd	1,0	5,00
TOLUENO	19,0	3,0	Nd	nd	-	-	-	-	296,0	16,3	-	-	-	24,0	-	nd	8,0	27,0	0,3	nd	7.244,0	3.385,0	1.954,0	560,9	nd	1,0	170,00
ETILBENZENO	13,0	49,0	21,0	21,4	-	-	-	-	4.596,0	590,7	-	-	-	4.328,0	-	nd	1.733,0	1.131,0	308,7	80,3	2.912,0	2.284,0	1.976,0	1.167,3	nd	1,0	200,00
XILENOS	7,0	7,0	1,0	1,6	-	-	-	-	5.097,0	1.111,9	-	-	-	2.469,0	-	nd	897,0	1.120,0	134,6	13,7	8.906,0	7.333,0	6.853,0	2.661,8	0,7	1,0	300,00
PAH (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) – µg /L																											
NAFTALENO	7,66	4,39	13,94	1,02	-	-	-	-	12,78	9,85	-	-	-	22,51	-	25,90	7,69	17,68	8,93	9,60	30,35	11,97	24,23	10,81	31,25	0,03	70,00
FENANTRENO	3,11	0,50	5,15	0,77	-	-	-	-	0,95	1,50	-	-	-	nd	-	1,79	0,29	0,52	0,21	1,40	1,33	0,08	nd	0,30	12,60	0,03	5,00
ANTRACENO	0,32	nd	0,19	0,06	-	-	-	-	nd	nd	-	-	-	nd	-	0,19	nd	nd	nd	1,20	0,13	nd	nd	nd	9,02	0,03	5,00
FLUORANTENO	nd	nd	Nd	nd	-	-	-	-	nd	nd	-	-	-	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	1,00
BENZO(A)ANTRACENO	nd	nd	Nd	nd	-	-	-	-	nd	nd	-	-	-	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,50
CRISENO	nd	nd	Nd	nd	-	-	-	-	nd	nd	-	-	-	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,05
BENZO(K)FLUORANTENO	nd	nd	Nd	nd	-	-	-	-	nd	nd	-	-	-	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,05
BENZO(A)PIRENO	nd	nd	Nd	nd	-	-	-	-	nd	nd	-	-	-	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,70
INDENO(1,2,3-CD)PIRENO	nd	nd	Nd	nd	-	-	-	-	nd	nd	-	-	-	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,05
BENZO(GHI)PERILENO	nd	nd	Nd	nd	-	-	-	-	nd	nd	-	-	-	nd	-	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,03	0,05
PAH TOTAL	11,09	4,89	19,28	1,85	-	-	-	-	13,73	11,35	-	-	-	22,51	-	27,88	7,98	18,20	9,14	12,20	31,81	12,05	24,23	11,11	52,87	-	-

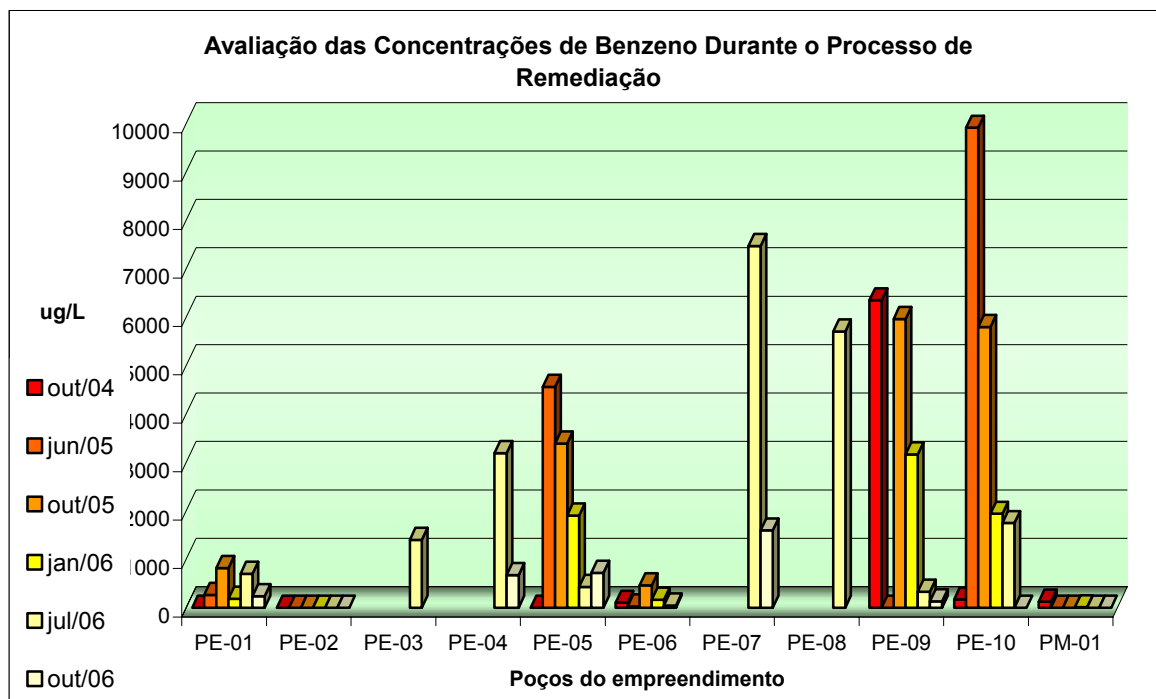
Simbologia: (-) sem referência; **Abreviação:** nd – não detectado
Em laranja: poços não analisados
Em vermelho: Valores no Nível de Intervenção da lista orientadora FEEMA (DZ-1841.R-2, 2004)

Tabela 5: Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas nos Poços PM-01, PM-02, PM-03, PI-01 e PI-02.

COMPOSTOS	PM-01					PM-02					PM-03					PI-01					PI-02					Limite De Detecção (µg /L)	Valores Orientadores Intervenção (µg /L)
	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06	JUN/05	OUT/05	JAN/06	JUL/06	OUT/06		
BTEX – µg /L																											
BENZENO	nd	nd	12,0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	93,0	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	1,0	5,00
TOLUENO	18,0	nd	Nd	nd	1,7	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	8,0	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	1,0	170,00
ETILBENZENO	7,0	4,0	25,0	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,0	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	1,0	200,00
XILENOS	94,0	53,0	310,0	1,2	0,3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	13,0	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	1,0	300,00
PAH (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) – µg /L																											
NAFTALENO	1,40	0,04	1,78	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	70,00
FENANTRENO	0,17	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	5,00
ANTRACENO	0,12	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	5,00
FLUORANTENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	1,00
BENZO(A)ANTRACENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,50
CRISENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,05
BENZO(K)FLUORANTENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,05
BENZO(A)PIRENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,70
INDENO(1,2,3-CD)PIRENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,05
BENZO(GHI)PERILENO	nd	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,05
PAH TOTAL	1,69	0,04	1,78	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Simbologia: (-) sem referência; **Abreviação:** nd – não detectado
Em laranja: poços não analisados
Em vermelho: Valores no Nível de Intervenção da lista orientadora FEEMA (DZ-1841.R-2, 2004)

Gráfico 6: Concentrações de Benzeno no Lençol Freático Durante o Processo de Remediação



6. CONCLUSÕES

De acordo com o exposto ao longo do trabalho, verificou-se que o sistema *Pump & Treat* teve um bom desempenho para a remediação de hidrocarbonetos em fase livre. A bomba opera realizando o rebaixamento do lençol freático de maneira lenta (20 L/min), o que é bom para a captação dos contaminantes sobrenadantes, pois a passagem da fase livre através dos poros do solo saturado também é lenta.

No tratamento dos hidrocarbonetos em fase dissolvida o sistema *Pump & Treat* não foi eficaz, provavelmente pelo sistema operar apenas 8 horas por dia, esgotar um poço por vez e a vazão de bombeamento ser baixa, não recuperando grandes quantidades de efluentes, resultando apenas na movimentação da pluma de fase dissolvida. Houve, portanto, a

necessidade da mudança do sistema de remediação. Não adiantaria manter o sistema em funcionamento, pois ele já havia chegado ao seu limite de eficiência operacional. O sistema *Pump & Treat* age apenas na zona saturada do solo, sobre a fase livre e fase dissolvida, não agindo na zona não saturada para o tratamento dos prováveis hidrocarbonetos em fase residual e dos hidrocarbonetos voláteis constatados durante o diagnóstico ambiental da área em outubro de 2004.

Quando o sistema MPE foi instalado não haviam hidrocarbonetos em fase livre nos poços, porém o novo sistema está sendo de grande eficácia na remoção da fase dissolvida. A bomba possui maior potência, e maior vazão de bombeamento (capacidade de 60L/min de água e 70L/h de min), além ter o funcionamento ao longo de todo o dia (24h), podendo assim atingir maiores raios de influência. Não foi realizada a medição do VOC após o início da remediação, mas este novo sistema também tem a capacidade de succionar os voláteis do solo.

O sistema *Pump & Treat* foi instalado na mesma direção do fluxo das águas subterrâneas e o poço de injeção nas proximidades da bomba, ou seja, a jusante dos poços de bombeamento/extração, sendo a injeção das águas não contribuindo para mover a pluma de contaminação para os poços.

Já o sistema MPE foi construído a sudoeste da área, direção diferente do fluxo normal das águas subterrâneas. Sendo assim o fluxo tende a mudar de sentido, pois neste caso ele é influenciado pelo bombeamento, ou seja, para sudoeste. A injeção das águas tratadas está promovendo a migração mais rápida da pluma para os poços, o que provavelmente está somando na eficiência do sistema de remediação.

De acordo com os dados pluviométricos da região, o lençol freático recebe muita influência das chuvas. O reaparecimento da fase livre foi marcado pela transição de um

período com muitas precipitações (novembro) para um período praticamente isento de chuvas (dezembro).

Com muitas chuvas houve o aumento do nível do lençol freático local. Os hidrocarbonetos em fase residual, presos na zona não saturada, foram arrastados e com a queda do nível da água, os hidrocarbonetos passaram apresentar-se sobrenadantes, como fase livre.

Nos meses de janeiro e fevereiro de 2005 e 2006 foi registrado no empreendimento o nível mais baixo das águas subterrâneas dentre todos os meses do ano, havendo o aparecimento da fase livre. Em março, época de muitas precipitações, a fase livre tornou a desaparecer.

Não só as chuvas influenciam na recarga do aquífero local, mas a proximidade da linha de costa faz com que a área fique sujeita as variações da maré (fenômeno que ocorre ao longo do dia), bem como as variações sazonais que o mar está sujeito. Não obstante, não se notou nenhum condicionamento do comportamento da pluma às variações de maré. A distância já seria suficiente para amortecer as variações mais importantes.

O monitoramento diário do lençol freático revelou que mesmo sob bombeamento durante o dia, no sistema *Pump & Treat*, o lençol freático as 17h não teve seu nível muito alterado, ou seja, devido ao tipo de material geológico que o terreno é composto, há uma recarga rápida do lençol freático. Já no sistema MPE, provavelmente por estar atuando um bombeamento 24 horas e com maior poder de sucção, o lençol freático se comportou de maneira muito variável, não sendo possível a construção de um gráfico que traduzisse o comportamento real do lençol freático em relação aos dados pluviométricos e avanços do mar a linha de costa.

Portanto, com posse de resultados analíticos, pode-se concluir que nas três primeiras campanhas de amostragem, na qual atuava o sistema *Pump & Treat*, a pluma de

hidrocarbonetos em fase dissolvida deslocou-se bastante. Porém, o efeito da diminuição da pluma só foi constatado nas duas ultimas análises na qual já operava o sistema MPE, mostrando maior eficiência do atual sistema de remediação no *site* estudado.

7. BIBLIOGRAFIA

- BRASIL – Ministério da agricultura Pecuária e abastecimento, Resolução Nº 35, DE 22 DE FEVEREIRO DE 2006, Publicado no Diário Oficial da União de 23/02/2006, Seção 1 , Página 4. Disponível em: <<http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/consultarLegislacao.do?operacao=visualizar&id=16473>> acesso em: 12 de novembro de 2006.
- CASARINI, D. C. P., DIAS, C. L., LEMOS, M. M. G. *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no Estado de São Paulo*. São Paulo: CETESB, 2001. 73p.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Dispõe Sobre a Aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em Substituição aos Valores Orientadores de 2001. Decisão de Diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.
- CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Procedimento para a Identificação de Passivos Ambientais em Estabelecimentos com Sistema de Armazenamento Aéreo de Combustíveis. Aprovado em 26 de janeiro de 2006.
- CHIARANDA, H. S. 2006. Volatilização dos compostos BTEX em ambientes sub superficiais contaminados com gasolina e etanol: comparação entre concentrações medidas e simuladas. Programa de Pós graduação em engenharia ambiental, Universidade Federal de santa Catarina , Florianópolis. Dissertação de Mestrado, 95p.
- CORSEUIL, H. X., MARTINS, M. D. M. Contaminação de Águas Subterrâneas por Derramamentos de Gasolina: O Problema é Grave? Revista Engenharia e Sanitária e Ambiental. V.2, n.2, p 50-54, 1997.
- FEEMA – Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente. DZ.1841 R-2 – Diretriz para o Licenciamento Ambiental e para a Autorização do Encerramento de Postos de Serviços que dispõem de sistemas de condicionamento ou Armazenamento de Combustíveis, Graxas Lubrificantes e seus Respectivos Resíduos. Aprovado dia 21 de novembro de 2004.
- FERREIRA, J., ZUQUETTE, L. V. Considerações sobre as interações entre contaminantes constituídos de hidrocarbonetos e os componentes do meio físico. Geociências, São Paulo. V.17, n. 2, p.527-557, 1998.
- FETTER, C. W. Contaminant Hydrogeology. New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 1992. 458 p.

FUNASA – Ministério da Saúde Portaria nº 1469 controle e Vigilância da qualidade da água para consumo humano e padrão de potabilidade. 29 de dezembro de 2000 Disponível em: <http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_1469.pdf#search='portaria%201.469%2F2000%20do%20Minist%C3%A9rio%20da%20Sa%C3%BAde'> acesso em 01 de dezembro de 2006.

GEORIO - Disponível em <<http://www2.rio.rj.gov.br/georio/site/alerta/download.htm> > acesso em 19 de dezembro de 2006.

GUIGUER, N. Poluição das águas subterrâneas e do solo causada por vazamentos em postos de abastecimento. São Paulo: Waterloo Brasil Ltda, 1994. 356p.

GUIMARÃES, C. H. D. 2003. Avaliação de risco ambiental de sítios contaminados por hidrocarbonetos de petróleo. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado, 315 p.

SILVA. R. L. B., BARRA. C. M., MONTEIRO, T. C.N., BRILHANTE, O.M. Estudo da Contaminação de Poços Rasos por Combustíveis Orgânicos e Possíveis Consequências para a Saúde Pública no Município de Itaguaí, Rio de Janeiro, Brasil. Caderno de Saúde Pública. Rio de Janeiro, novembro, 2002

SISINNO, C. L. S., NETTO, A.D.P., REGO, E. C. P., LIMA, G. S. V. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos em Resíduos Sólidos Industriais: Uma Avaliação Preliminar do Risco Potencial de Contaminação Ambiental e Humana em Áreas de Disposição de Resíduos. Caderno de Saúde Pública. Rio de Janeiro, n. 2, março , 2003.

SOLIMAN, M. M.; LaMOREAUX, P. E.; MEMON, B. A.; ASAAD, F. A; LaMOREAUX, J. W. Environmental hydrogeology. New York: Lewis Publishers, 1998. 386 p.

THOMAS, J. E.. Fundamentos de engenharia do petróleo. Rio de Janeiro, Interciência: PETROBRAS, 2001. 271p.

VALENTIN, L, A. 2006. Boas Práticas de Laboratório: Aplicação para Avaliar o Impacto Ambiental Causado pelo Derrame de Derivados de Petróleo. Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos. Dissertação de Mestrado, 110p.

Apêndice I – Avaliação da Presença de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC)

Foram realizadas 73 perfurações (P-01 a P-73), que contemplaram toda a área de abastecimento e suas proximidades (solo local e o aterro depositado na cava dos tanques retirados). As leituras de VOC, variando entre 20 e 11.000 ppm, foram realizadas com dispositivo de exclusão do metano da quantificação total dos hidrocarbonetos voláteis. As perfurações foram locadas em malha regular, inicialmente de 10,0 m, atingindo uma malha mínima de 5,0m.

As concentrações obtidas ao longo da campanha de VOC encontram-se na **Tabela I**.

A **Figura 3** ilustra o mapa de Concentração de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) confeccionado, utilizando os valores de VOC medidos na área investigada.

Tabela I: Resultado da campanha de VOC (ppm)

Perfuração	VOC (ppm)	Perfuração	VOC (ppm)	Perfuração	VOC (ppm)
P-01	240	P-26	11.000	P-51	240
P-02	340	P-27	7.860	P-52	480
P-03	600	P-28	2.860	P-53	2.500
P-04	260	P-29	4.620	P-54	240
P-05	200	P-30	580	P-55	160
P-06	20	P-31	11.000	P-56	420
P-07	40	P-32	440	P-57	1.020
P-08	600	P-33	820	P-58	180
P-09	800	P-34	11.000	P-59	580
P-10	460	P-35	4.820	P-60	440
P-11	340	P-36	320	P-61	580
P-12	460	P-37	480	P-62	540
P-13	500	P-38	11.000	P-63	240
P-14	720	P-39	11.000	P-64	1.360
P-15	1.340	P-40	800	P-65	420
P-16	1.940	P-41	4.960	P-66	440
P-17	800	P-42	260	P-67	1.620
P-18	620	P-43	300	P-68	160
P-19	680	P-44	1.580	P-69	80
P-20	640	P-45	11.000	P-70	560
P-21	340	P-46	11.000	P-71	240
P-22	640	P-47	11.000	P-72	440
P-23	680	P-48	11.000	P-73	320
P-24	340	P-49	260	-	-
P-25	620	P-50	11.000	-	-

Apêndice II – Resultados Analíticos das Amostras de Solo

Foram coletadas amostras de solo para análise de BTEX e PAH, em outubro de 2004 nas sondagens PE-01, PE-05, PE-06, PE-09, PE-10, PE-02, PM-01, PM-02, PM-03 e PI-01; e em abril de 2006 nas sondagens PE-03, PE-04, PE-07, PE-08 e PI-02, visando à delimitação da contaminação na área do empreendimento.

Para os compostos BTEX analisados em outubro de 2004, a amostra da sondagem PE-09 apresentou concentrações de benzeno e xilenos no Nível de Intervenção da lista orientadora da FEEMA, 2004; a amostra da sondagem PE-10 apresentou concentrações de benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos no Nível de Intervenção; e a amostra coletada na sondagem PM-01 apresentou concentrações de xilenos no Nível de Intervenção (tabela II).

Em relação ao parâmetro PAH Total analisados em outubro de 2004, as amostras coletadas nas sondagens PE-01 e PE-09 apresentaram concentrações no Nível de Intervenção da lista orientadora (tabela II).

Para os compostos BTEX analisados em abril de 2006, as amostras PE-04, PE-07 e PI-02 apresentaram concentrações de tolueno no Nível de Referência definido pela lista de valores orientadores da FEEMA (2004). Para os demais compostos/amostras analisados foram obtidas concentrações inferiores ao limite de detecção do método/aparelho utilizado pelo laboratório. Com relação às análises de PAH, todas as amostras analisadas em abril de 2006 apresentaram concentrações abaixo do limite de detecção utilizado pelo laboratório (tabela III).

Tabela II: Resultados Analíticos das Amostras de Solo em outubro de 2004

COMPOSTOS	PE-01	PE-05	PE-06	PE-09	PI-01	PE-10	PM-01	PM-02	PM-03	PE-02	Limite de Detecção (µg/Kg)	Valores Orientadores (µg/Kg)		
												Referência	Alerta	Interven- ção
BTEX – µg/Kg														
BENZENO	53,67	nd	nd	3.223,30	nd	3.481,21	59,25	nd	nd	nd	1,0	50,0	530,0	1.000,0
TOLUENO	2,98	3,61	nd	372,08	nd	82.938,88	547,59	nd	nd	nd	1,0	50,0	65.000,0	130.000,0
ETILBENZENO	4.429,81	1.172,67	967,97	41.680,38	nd	98.953,71	19.667,08	nd	nd	806,82	1,0	50,0	25.000,0	50.000,0
XILENOS	1.587,80	1.390,38	815,84	98.627,21	nd	378.143,68	103.988,34	nd	nd	92,61	1,0	50,0	12.500,0	25.000,0
PAH (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) – µG/KG														
NAFTALENO	732,37	1,18	4,75	1.309,08	nd	779,82	17,81	nd	0,79	111,34	0,4	-	-	-
FENANTRENO	98.870,29	1.172,94	16.142,33	68.155,53	nd	15.344,82	4.363,41	nd	nd	30.168,59	4,0	-	-	-
ANTRACENO	1.222,28	nd	45,49	880,99	nd	42,64	nd	nd	nd	122,73	4,0	-	-	-
FLUORANTENO	47,44	nd	41,76	485,05	nd	13,73	nd	nd	nd	7,44	4,0	-	-	-
CRISENO	1.376,87	nd	77,08	1.275,33	nd	87,12	nd	nd	nd	297,43	4,0	-	-	-
BENZO(A)ANTRACENO	21,44	nd	nd	23,83	nd	5,55	nd	nd	nd	6,29	4,0	-	-	-
BENZO(K)FLUORANTEN O	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	-	-	-
BENZO(A)PIRENO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	-	-	-
INDENO(1,2,3-CD)PIRENO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	-	-	-
BENZO(GHI)PERILENO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,4	-	-	-
PAH TOTAL	102.270,69	1.174,12	16.311,41	72.129,81	nd	16.273,68	4.381,22	nd	0,79	30.713,82	-	1.000,00	20.500,0	40.000,0

Simbologia: (-) sem referência; **Abreviação:** nd – não detectado

Em vermelho: Valores no Nível de Intervenção da lista orientadora FEEMA (DZ-1841.R-2, 2004)

Tabela III: Resultados Analíticos das Amostras de Solo em abril de 2006

COMPOSTOS	PE-08 3,00 m	PE-03 4,00 m	PE-04 3,50 m	PE-07 2,50 m	PI-02 4,00 m	Limite de Detecção (µg/Kg)	Valores Orientadores (µg/Kg)		
							Referência	Alerta	Intervenção
BTEX – µg/Kg									
BENZENO	nd	nd	Nd	nd	nd	1,0	50,0	530,0	1.000,0
TOLUENO	nd	nd	387,13	419,41	225,91	1,0	50,0	65.000,0	130.000,0
ETILBENZENO	nd	nd	nd	nd	nd	1,0	50,0	25.000,0	50.000,0
XILENOS	nd	nd	nd	nd	nd	1,0	50,0	12.500,0	25.000,0
PAH (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) – µg/Kg									
NAFTALENO	nd	nd	nd	nd	nd	0,4	-	-	-
FENANTRENO	nd	nd	nd	nd	nd	4,0	-	-	-
ANTRACENO	nd	nd	nd	nd	nd	4,0	-	-	-
FLUORANTENO	nd	nd	nd	nd	nd	4,0	-	-	-
CRISENO	nd	nd	nd	nd	nd	4,0	-	-	-
BENZO(A)ANTRACENO	nd	nd	nd	nd	nd	4,0	-	-	-
BENZO(K)FLUORANTENO	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	-	-	-
BENZO(A)PIRENO	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	-	-	-
INDENO(1,2,3-CD)PIRENO	nd	nd	nd	nd	nd	0,2	-	-	-
BENZO(GHI)PERILENO	nd	nd	nd	nd	nd	0,4	-	-	-
PAH TOTAL	nd	nd	nd	nd	nd	-	1.000,00	20.500,0	40.000,0

Simbologia: (-) sem referência; **Abreviação:** nd – não detectado

Em vermelho: Valores no Nível de Intervenção da lista orientadora FEEMA (DZ-1841.R-2, 2004)

Apêndice III – Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas

Foram coletadas amostras das águas subterrâneas nas sondagens PE-01, PE-05, PE-06, PE-09, PE-10, PE-02, PM-01, PM-02, PM-03 e PI-01 em outubro de 2004.

As amostras de água das águas subterrâneas foram encaminhadas para análises químicas de BTEX e PAH.

Em relação aos compostos de BTEX analisados, foram verificadas concentrações de benzeno nos poços PE-09, PE-10, PE-06 e PM-01; tolueno, etilbenzeno e xilenos no poço PE-09; e xilenos nos poços PE-06 e PM-01 no Nível de Intervenção das listas orientadoras (tabela IV) .

Quanto aos compostos de PAH, foram obtidas concentrações de fenantreno no Nível de Intervenção nos poços PM-01, PE-01, PE-05, PE-09, PE-10 e PE-06; concentrações de antraceno no Nível de Intervenção para os poços PM-01, PE-10 e PI-01; valores de criseno no Nível de Intervenção para o poço PE-02; concentrações de benzo(a)antraceno no Nível de Intervenção das listas orientadoras (tabela IV).

Tabela IV: Resultados Analíticos das Amostras de Águas Subterrâneas em outubro de 2004

COMPOSTOS	PE-01	PE-02	PE-05	PE-06	PE-09	PE-10	PM-01	PM-02	PM-03	PI-01	Limite de Detecção (µg/L)	Valores Orientadores Intervenção (µg /L)
BTEX – µg /L												
BENZENO	nd	nd	nd	104,75	6.352,35	170,24	128,07	nd	nd	nd	1,0	5,00
TOLUENO	nd	nd	nd	nd	13.754,23	nd	45,58	nd	nd	nd	1,0	170,00
ETILBENZENO	nd	nd	nd	84,14	2.343,20	nd	4,80	nd	nd	nd	1,0	200,00
XILENOS	nd	nd	nd	551,7	8.424,79	nd	947,70	nd	nd	nd	1,0	300,00
PAH (HIDROCARBONETOS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS) – µg /L												
NAFTALENO	24,31	nd	6,14	1,22	27,72	20,07	42,59	0,011	nd	13,97	0,001	70,00
FENANTRENO	873,81	nd	107,35	81,56	8,29	431,79	397,51	nd	nd	97,50	0,01	5,00
ANTRACENO	nd	nd	0,64	0,56	nd	5,38	5,48	nd	nd	0,62	0,01	5,00
FLUORANTENO	0,90	nd	0,46	0,64	nd	0,16	0,42	nd	nd	0,31	0,01	1,00
BENZO(A)ANTRACENO	0,88	nd	0,0052	0,020	nd	0,15	0,24	nd	nd	0,011	0,01	0,50
CRISENO	21,45	0,42	1,41	1,95	nd	5,96	7,57	nd	nd	1,25	0,01	0,05
BENZO(K)FLUORANTENO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,0005	0,05
BENZO(A)PIRENO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,0005	0,70
INDENO(1,2,3-CD)PIRENO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,0005	0,05
BENZO(GHI)PERILENO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,001	0,05
PAH TOTAL	921,35	0,42	116,01	85,95	36,01	463,51	453,81	0,011	nd	113,66	-	-

Simbologia: (-) sem referência; **Abreviação:** nd – não detectado

Em vermelho: Valores no Nível de Intervenção da lista orientadora FEEMA (DZ-1841.R-2, 2004)